



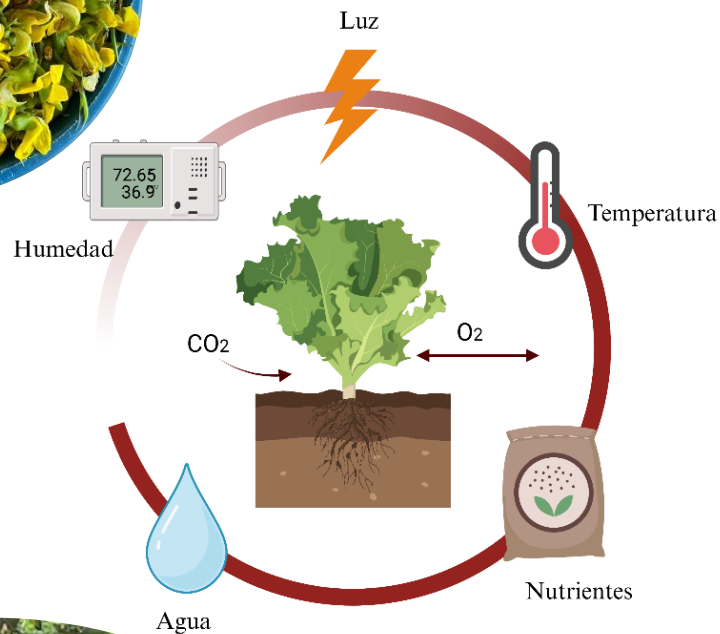
Desde el Herbario CICY

Revista de divulgación científica editada por la Unidad de Recursos Naturales

Flores comestibles de Oaxaca, tradición alimentaria con potencial preventivo de enfermedades no transmisibles



¿Estrés en tu ensalada? La lechuga sufre y se defiende ante el estrés oxidativo



Más allá de las especies: explorando las diferentes dimensiones de la diversidad biológica

Ganadería a pequeña escala: reservorios de diversidad vegetal en el sureste de México



Contenido de melatonina en diferentes especies: variaciones y funciones adaptativas



ISSN: 2395-8790

https://www.cicy.mx/sitios/desde_herbario

Vol. 17, Núm. 6. Junio de 2026

Contenido

4 Instrucciones para los autores

5 Desde el comité editorial

6 Celebraciones del mes

6 5 de junio: Día Mundial del Medio Ambiente

7 29 de junio: Día Internacional de los Trópicos

8 La especie del mes: Ceiba, el gigante del Neotrópico

9 Ensayos del mes

9 Flores comestibles de Oaxaca, tradición alimentaria con potencial preventivo de enfermedades no transmisibles

16 ¿Estrés en tu ensalada? La lechuga sufre y se defiende ante el estrés oxidativo

23 Más allá de las especies: explorando las diferentes dimensiones de la diversidad biológica

29 Ganadería a pequeña escala: reservorios de diversidad vegetal en el sureste de México

36 Contenido de melatonina en diferentes especies: variaciones y funciones adaptativas

40 Próximo número

Directorio

COMITÉ EDITORIAL 2026-2027

Editor General

Jaime Martínez Castillo

Editores de producción

Alfredo Dorantes Euan

Ariadna Ibarra Morales

Editores Asociados

Germán Carnevali Fernández-Concha

Ivón M. Ramírez Morillo

Luz María del Carmen Calvo Irbien

Manuel Martínez Estévez

Juan Manuel Dupuy Rada

Luis Alexander Peña Peniche

Pilar Angélica Gómez Ruiz

María Azucena Canto Aguilar

Mariana Chávez Pesqueira

Ivonne Sánchez del Pino

Casandra Reyes García

Rodrigo Duno de Stefano

Javier Orlando Mijangos Cortés

Patricia Rivera Pérez

José Luis Andrade Torres

José Luis Hernández Stefanoni

María Guadalupe Carrillo Galván

José Viccon Esquivel

Virginia Aurora Herrera Valencia

Oscar Alberto Moreno Valenzuela

Jorge Carlos Trejo Torres

Eduardo Cejudo Espinosa

Ramón Mariaca Méndez

Luz Adriana Pérez Solano

Jorge Urdapilleta Carrasco

Diseño Editorial

Norma Marmolejo Quintero

Sitio web

José Fernely Aguilar Cruz

Diseño para redes sociales y difusión

Erika Gabriela Cano León

Desde el Herbario CICY es una publicación mensual editada por la Unidad de Recursos Naturales del Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C. Reserva de Derechos al Título Exclusivo No. 04-2016-041413195700-203, otorgado por el Instituto Nacional del Derecho de Autor, ISSN: 2395-8790. Desde el Herbario CICY –DHICY– © 2026 by Editor General DHICY is licensed under CC BY-NC-ND 4.0. To view a copy of this license, visit <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>. Las opiniones expuestas por los autores no necesariamente expresan la postura de los editores. La responsabilidad sobre la veracidad y la precisión de los contenidos corresponde a los autores de los ensayos.

Desde el Herbario CICY –DHICY– es una revista fundada en 2009 por la Dra. Ivón M. Ramírez Morillo y los Dres. Germán Carnevali Fernández-Concha y Rodrigo Duno de Stefano, investigadores de la Línea de Sistemática y Florística de la Unidad de Recursos Naturales del Centro de Investigación Científica de Yucatán, encargados del Herbario CICY.

DHICY se especializa en la divulgación científica, con énfasis en temas de la biología vegetal en sus diferentes niveles de organización y enfoques de estudio, así como en sus interacciones con otros seres vivos (animales, hongos, microorganismos). También, acepta ensayos de otras áreas científicas que aborden temas relacionados con las plantas u otros organismos. Siendo el objetivo central la divulgación científica, transmitida de forma amena y accesible a la sociedad, se recomienda que los autores dominen el tema a tratar para presentar la información de forma resumida y escribir un ensayo fácilmente entendible por un lector no versado en el tema, manteniendo siempre la calidad científica. Se recomienda que el ensayo tenga una línea narrativa que incluya el planteamiento de una interrogante o hipótesis científica y su resolución o posibles escenarios explicativos. Los ensayos descriptivos son también aceptables, siempre y cuando contengan aspectos novedosos o relevantes del tema abordado. Comentarios sobre eventos científicos (o de la historia de la ciencia), así como reseñas de libros, artículos u otras publicaciones de relevancia para la comunidad científica nacional e internacional son bienvenidos. Por la naturaleza de **DHICY**, se recomienda ampliamente que el ensayo contenga imágenes de alta calidad, las cuales estén relacionadas con el tema abordado; estas permitirán atraer la atención del público y también le darán al ensayo un mayor realce y difusión en redes sociales. El Comité Editorial de **DHICY** velará por el mantenimiento de estos valores de calidad científica, literaria y editorial. Los ensayos podrán ser publicados en español o inglés. Para más información visitar el sitio https://www.cicy.mx/sitios/desde_herbario. En caso de interés de publicar en DHICY, enviar sus manuscritos o escribir al correo electrónico: desde.el.herbario@cicy.mx.

Instrucciones para los autores

Desde el Herbario CICY es un espacio para compartir ciencia y naturaleza con la sociedad. Invitamos a estudiantes, investigadores y amantes de la biodiversidad a colaborar con artículos de divulgación claros, creativos y accesibles.

Guía corta (Para más información, ir a https://www.cicy.mx/sitios/desde_herbario).

Título. Breve, conciso y refleje el contenido del manuscrito (máximo 15 palabras). Escribirlo en altas y bajas, centrado; nombres científicos en cursivas, sin la autoría del taxón.

Nombre de los autores, adscripción y correo electrónico. Máximo cuatro autores. Escribir los nombres completos: nombre de pila en altas y bajas, apellidos en altas y bajas, alineados al centro. Incluir nombre de la institución de adscripción, dirección de cada autor y el correo electrónico de dos autores por correspondencia.

Resumen. Resumen breve, máximo 100 palabras.

Palabras clave. Máximo cinco, en orden alfabético, no deben aparecer en el título. Se aceptan palabras compuestas de tres palabras, máximo cuatro (e. g., “Sierra Madre del Sur”).

Nombres científicos. En itálicas, género (o niveles inferiores) con su autoría solamente la primera vez que se le cita en el texto; autorías se omiten en el título, resumen y en las leyendas de las figuras.

Texto del ensayo. No exceder tres cuartillas, incluyendo el título, resumen, autores y adscripciones, las referencias y las leyendas de las figuras. Manuscrito a espacio simple y justificado a la izquierda, en Times New Roman 12 pts.

Iconografía. Mínimo dos imágenes, máximo 5. Dar el crédito de las imágenes en las leyendas de las figuras. Imágenes de la web deben ser de uso no restringido y su origen reconocido con la cita de la liga a la imagen en la web. Características: a) **resolución mínima de 300 dpi**, b) formato tiff o jpg, c) bien enfocadas, d) dimensiones de **al menos 10 x 10 cm**, e) no pesar **más de 10 MB**. Se envían como archivos individuales, **no ensambladas/compuestas**. Se aceptan propuestas de imágenes compuestas, pero la decisión final es responsabilidad del comité editorial de DHICY. Las leyendas de las figuras se ponen al final del ensayo.

Cita de las referencias en el texto. Todas las citas incluidas en el texto deben estar en la sección de **Referencias**. Se recomienda no más de **10 citas**, ordenadas cronológicamente y siguiendo este formato: Ruiz-Sánchez (2011) y Carnevali & Cetzal-Ix (2012). En caso de tres o más autores: Clarke *et al.* (2009). En caso de citarse varios trabajos a la vez, se ordenarán cronológicamente, ejemplo: (Clarke *et al.* 2009, Carnevali & Cetzal-Ix 2012). Si se citan dos o más trabajos de un mismo autor o autores publicados en el mismo año, sus referencias se complementarán con letras junto al año (a, b, c, d, etc.).

Poner el **DOI** cuando este exista. Las **comunicaciones personales** se citarán solo en el texto principal, por ejemplo: (J. Pérez, *com. pers.*).

Referencias. Lista completa de las fuentes de información mencionadas en el texto, en estricto orden alfabético y de acuerdo con los siguientes ejemplos:

Artículos

Clarke H.D., Seigler D.S., Ebinger J.E. 2009. Taxonomic revision of the *Vachellia acuífera* species group (Fabaceae: Mimosoideae) in the Caribbean. *Systematic Botany* 34: 84-101.
<https://doi.org/10.1600/036364409787602285>

Libros

Carnevali G., Tapia-Muñoz J.L., Duno de Stefano R., Ramírez-Morillo I. 2010. *Flora Ilustrada de la Península de Yucatán: Listado Florístico*. Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C., Mérida, Yucatán, México. 328 pp.

Cox C.B., Moore P.D. 1996. *Biogeography: An Ecological and Evolutionary Approach*. Blackwell Science, Oxford. 385 pp.

Capítulos en libros

Gentry A.H. 1991. The distribution and evolution of climbing plants. En: Putz F.E. y Money H.A. Eds. *The Biology of Vines*, pp. 1-49. Cambridge University Press, Cambridge.

Tesis

García-Lara S.L. 2013. Sistemática de *Pithecellobium* Mart. Sección *Spitacatae* L. Rico y taxonomía de *P. lanceolatum* (Willd.) Benth. (Leguminosae). Tesis Maestría, Centro de Investigación Científica de Yucatán, México, Yucatán.

Documentos electrónicos

Tropicos. 2014. Missouri Botanical Garden. <http://www.tropicos.org/Name/5501778> (consultado: 6 Octubre 2014).

Cuadros o tablas

Deben entregarse en archivos separados en Word.

Leyendas (de cuadros y figuras)

Colocarse después de las referencias. Cada leyenda no exceda de cuatro líneas.

Agradecimientos. A personas, instituciones financiadoras, comunidades donde se realizan los estudios, árbitros, etc.

Estimada comunidad lectora de Desde el Herbario CICY –DHICY–

Los saludamos nuevamente, esperando hayan disfrutado de los ensayos de mayo. En este nuevo número les traemos cinco ensayos que esperamos disfruten.

Nuestro primer ensayo nos presenta información de cuatro especies cuyas flores se comen en Oaxaca. Estas son parte de la cultura y tradición alimentaria de los pueblos originarios, quienes recrean la historia de su consumo. Las especies abordadas en este ensayo son la flor de izote, la flor del maguey pulquero, el guachepil y el tepejilote. Los autores nos recuerdan que estas flores no solo son para el disfrute de nuestro paladar, sino que también nos ayudan en nuestra salud aportando compuestos antioxidantes como los polifenoles y flavonoides, así como minerales esenciales como fósforo y potasio.

El segundo ensayo nos habla de un vegetal muy común en nuestra mesa: la lechuga. Los autores nos explican cómo este vegetal enfrenta retos para su cultivo y buen desarrollo como resultado de factores asociados al calentamiento global (mayor temperatura y radiación solar, sequías), los cuales producen estrés oxidativo, afectando su crecimiento y valor nutricional. Ante esto, la lechuga activa sistemas antioxidantes que minimizan el daño celular. Comprender estos mecanismos de respuesta permite proponer estrategias para la seguridad alimentaria.

Nuestro tercer ensayo aborda la complejidad de la biodiversidad, la cual comprende la variedad de seres vivos y ecosistemas, incluyendo la diversidad dentro de las especies, entre especies y de hábitats. Los autores definen conceptos básicos para entender mejor este componente esencial de nuestro planeta, abordando las diferencias en la

diversidad entre especies vista en sus tres dimensiones: taxonómica, funcional y filogenética. Entender mejor qué es la biodiversidad ayuda a identificar especies raras o restringidas a ciertas regiones, con funciones ecológicas únicas, así como áreas prioritarias para la conservación.

El cuarto ensayo nos muestran cómo la ganadería a pequeña escala puede funcionar como reservorio de diversidad vegetal en el sureste de México. En esta región, este tipo de ganadería crea paisajes multifuncionales que equilibran producción y conservación de los recursos naturales y protección del medio ambiente. Así, frente al cambio climático y la pérdida de biodiversidad, las áreas ganaderas pequeñas representan una alternativa sostenible para la seguridad alimentaria y el manejo biocultural del territorio.

Nuestro último ensayo nos muestra cómo la melatonina, compuesto asociado normalmente a animales, también puede encontrarse en organismos tan diversos como las plantas, hongos y bacterias. Ante esto, los autores analizan las diferencias en el contenido de melatonina entre diferentes especies y discuten sus posibles razones adaptativas, con énfasis en las funciones que cumple este compuesto en cada tipo de organismo.

En nuestra sección “Celebraciones del mes” no podíamos olvidar el 5 de junio, día internacional del medio ambiente. También, este mes celebramos el 29 de junio, día internacional de los trópicos. En la sección “La especie del mes”, traemos a la ceiba o yaax-che (*Ceiba pentandra*), una de las especies de árboles más significativas del Neotrópico.

Esperamos disfruten de la lectura de este número de DHICY.

Editor General

Celebraciones del mes

En junio de cada año celebramos dos días muy importantes que están relacionados con la labor de quienes formamos parte de DHICY, y en esta sección queremos recordarlos:

5 de junio: Día Mundial del Medio Ambiente



El Día Mundial del Medio Ambiente nació en 1972, cuando la Organización de las Naciones Unidas declaró el 5 de junio como una fecha para reflexionar sobre la relación entre la humanidad y la naturaleza. En la península de Yucatán, esa reflexión no puede seguir esperando, ya que su historia está íntimamente ligada a sus recursos naturales. Aquí, los pueblos mayas han habitado durante siglos, desarrollando una estrecha relación con un entorno donde los recursos se presentan de manera estacional. La marcada alternancia entre la época de lluvias y la de sequía obligó históricamente a observar los ciclos y las señales de la naturaleza para planear los momentos de siembra y cosecha. En esta cultura, la diversidad vegetal ha sido fundamental para asegurar el acceso al alimento, tanto en años húmedos como secos. La dependencia del sistema milpa respecto a la diversidad de la selva circundante es tangible, mientras que los cenotes han sido reconocidos tradicionalmente como espacios sagrados y dignos de protección.

Sin embargo, el crecimiento urbano, la expansión poblacional y la pérdida de valores asociados al respeto por la naturaleza han impulsado un modelo de desarrollo basado en la explotación masiva del medio ambiente, sin considerar que los recursos naturales no son infinitos y que todos forman parte de sistemas profundamente interdependientes.

La península de Yucatán conserva todavía uno de los últimos grandes macizos forestales relativamente saludables del país, la Reserva de la Biósfera Calakmul. Pero esa riqueza natural enfrenta hoy una presión creciente. La deforestación, la contaminación del manto freático y la fragmentación de los ecosistemas amenazan no solo a la flora y fauna silvestres, sino también a los servicios ambientales de los que depende nuestra propia sociedad. Quienes habitamos esta región, junto con las y los tomadores de decisiones, tenemos la responsabilidad de detener la destrucción acelerada de estos ecosistemas y redirigir nuestro rumbo hacia la restauración de las selvas y el saneamiento del manto freático. Estas acciones son urgentes, no solo para mitigar los efectos de la presión humana sobre los ecosistemas y el cambio climático, sino también para conservar las múltiples formas de vida con las que compartimos este territorio y los servicios ecosistémicos que sostienen nuestro bienestar.

Quizá el mayor reto de nuestro tiempo sea recordar que los seres humanos no estamos separados de la naturaleza. Dependemos de ella. Defenderla implica también defender nuestro propio futuro, sin olvidar el derecho de la vida —aunque no sea humana— a existir y tener un lugar en este planeta compartido.

Cassandra Reyes García y Celene Espadas Manrique

29 de junio: Día Internacional de los Trópicos



El Día Internacional de los Trópicos, celebrado cada 29 de junio, es una fecha establecida por la Asamblea General de las Naciones Unidas en 2016 para reconocer la importancia estratégica y la asombrosa diversidad de esta región. Geográficamente, los trópicos se definen como la franja delimitada por dos paralelos situados a 23.5° de latitud: el de Cáncer al norte y el de Capricornio al sur. Un dato curioso, esa línea imaginaria se mueve ligera y continuamente debido a variaciones en la inclinación del eje de la Tierra y la precesión de los equinoccios. Esta zona marca el límite donde el sol puede alcanzar el cenit, posicionándose directamente sobre la cabeza en algún momento del año (más al norte y más al sur de esta zona, el sol nunca pasa justo directamente por encima de la cabeza).

México es comúnmente descrito como un país tropical, aunque esta es una realidad parcial. Debido a su geografía, los estados del norte como Baja California, Chihuahua, Coahuila, Sonora y Nuevo León, entre otros, se encuentran en una zona templada. Al efecto latitudinal se suma el factor de la altitud: diversas regiones del centro del país, situadas a más de 1,500 metros sobre el nivel del mar, presentan climas más frescos y se consideran templados. Así, solo cerca del 50 % del territorio se considera estrictamente tropical. Esta compleja interacción entre latitud y relieve es, precisamente, lo que convierte a México en uno de los países megadiversos del mundo.

Los trópicos albergan cerca del 40 % de la población mundial y el 80 % de la biodiversidad de la Tierra. Son el hogar de selvas exuberantes, arrecifes de coral vibrantes y extensas sabanas que regulan el clima global y los ciclos del agua. Lamentablemente, más allá de su belleza natural y riqueza biológica, los trópicos enfrentan desafíos estructurales únicos que requieren una mirada global.

El aumento de las temperaturas, la deforestación y la acidificación de los océanos amenazan no solo la riqueza biológica, sino que también ponen en riesgo la seguridad alimentaria y el sustento de millones de personas que dependen directamente de los recursos naturales. La protección de los ecosistemas tropicales no es solo una cuestión ambiental; es una necesidad urgente para la estabilidad económica mundial.

El Día Mundial de los Trópicos es un llamado a la acción. No se trata solo de celebrar un paisaje exótico, rico en especies, sino de entender que el bienestar de sus habitantes, y también de todos los demás, está ligado al destino de estas regiones. Proteger los trópicos significa salvaguardar el pulmón del mundo y garantizar un futuro mejor para las próximas generaciones. Al valorar su importancia y papel global, aseguramos que la vitalidad de la franja tropical continúe nutriendo la vida en todo el planeta.

Rodrigo Duno de Stefano

La especie del mes

Ceiba, el gigante del Neotrópico



En conmemoración del día internacional de los Trópicos, celebrado en junio, les traemos en esta sección a la ceiba (*Ceiba pentandra* (L.) Gaertn.), también conocida en algunos países de Sur América como lupuna, Samaúma, bongu y huimba, entre otros nombres.

La ceiba puede considerarse una de las especies de árboles más significativas del Neotrópico. Es uno de los árboles más altos de la selva, alcanzando hasta los 70 metros de altura, por lo que suele emerger por encima del dosel; sus grandes raíces tabulares (anchas y acanaladas como contrafuertes) y ramas albergan una enorme biodiversidad, siendo hábitat común de diferentes especies de insectos, aves, mamíferos, anfibios, reptiles y plantas epífitas como orquídeas y bromelias.

La ceiba se distribuye en México, Centroamérica, Las Antillas, Sudamérica e, interesantemente, en el Oeste de África y sur de Asia donde fue introducida. Este árbol prefiere climas tropicales húmedos o secos, desarrollándose muy bien en selvas tropicales, tanto caducifolias como perennifolias, en suelos desde arenosos hasta arcillosos e inundables. Crece en altitudes que van desde el nivel del mar hasta los 1000-1500 msnm. La ceiba es un árbol caducifolio, lo que significa que pierde sus hojas durante la época seca. Destaca por su tronco recto que puede superar los 3 metros de diámetro; cuando jóvenes, estos suelen tener espinas cónicas de color verde (de allí el nombre de Ya'ax che', en lengua maya). Presenta un rápido desarrollo,

siendo capaz de crecer hasta 4 metros por año. Florece de diciembre a marzo, produciendo flores aromáticas de color blanco o rosado. Sus frutos son cápsulas oblongas que, al abrirse, liberan una fibra algodonosa conocida como kapok, razón por la cual también suele recibir el nombre de árbol de kapok en África occidental.

La ceiba es el árbol nacional de Guatemala. Además, es reconocida como una "Especie Clave Espiritual" (Spiritual Keystone Species); por ejemplo, para los Mayas, la ceiba es un "árbol sagrado" o "árbol de la vida", el cual representa la conexión entre el inframundo (raíces), el mundo terrenal (tronco) y el cielo (copa). En Cuba, por su parte, los practicantes de la religión yoruba reconocen en la ceiba la morada de Iroko, un orisha de carácter profundo, el cual representa al espíritu del bosque y el paso del tiempo.

Entre algunos de los usos tradicionales de la ceiba se reporta el manejo de su corteza en el tratamiento de afecciones respiratorias y como diurético. También, las comunidades indígenas amazónicas usan el kapok para sellar los dardos de sus cerbatanas. Además, la madera se emplea en la fabricación de canoas, balsas y artesanías; mientras que las semillas se consumen tostadas o cocidas.

Maravíllate con este hermoso árbol... ¡solo cuídate de la *Xtabay* si andas en la península de Yucatán!

Jaime Martínez Castillo

Flores comestibles de Oaxaca, tradición alimentaria con potencial preventivo de enfermedades no transmisibles

Rubí Marcos-Gómez, Mónica Lilian Pérez-Ochoa, Araceli Minerva Vera-Guzmán*
y José Luis Chávez-Servia**

CIIDIR-Oaxaca, Instituto Politécnico Nacional, Hornos 1003, 71230, Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca.

*avera@ipn.mx; **jchavez@ipn.mx

Resumen

Las flores comestibles son parte de la gastronomía oaxaqueña y, desde tiempos precolombinos, son parte de la cultura y tradición alimentaria de los pueblos originarios quienes recrean la historia de consumo, frescas o cocidas. Se estudiaron cuatro especies de inflorescencias comestibles; *Yucca filifera* (izote), *Agave salmiana* (maguey pulquero), *Diphysa americana* (guachepil) y *Chamaedorea tepejilote* (tepejilote) para determinar sus compuestos que contribuyen a la dieta en Oaxaca. Estas inflorescencias aportan compuestos antioxidantes (polifenoles y flavonoides) y minerales esenciales. Por ejemplo, el guachepil sobresale en compuestos antioxidantes y fósforo; el izote, maguey pulquero y tepejilote son fuentes importantes de potasio, este último también aporta silicio.

Palabras clave: Actividad antioxidante, compuestos fenólicos, flavonoides.

En México, las flores comestibles se han utilizado desde la época precolombina para la preparación de alimentos; estas integran el grupo de especies de

quelites, donde se han identificado y agrupado a más de 100 especies nativas que representan al menos a 49 géneros de 25 familias de plantas, donde sobresalen Agavaceae, Leguminosae, Arecaceae, Cactaceae, y Cucurbitaceae (Mapes & Basurto 2016). En el caso particular de Oaxaca, en cada una de sus regiones se distribuyen diferentes especies de flores silvestres, toleradas o cultivadas, las cuales son utilizadas como condimento o forman parte de platillos típicos propios de la gastronomía local o regional, siendo altamente apreciadas las flores recolectadas en condiciones naturales, bordes de caminos, cercas o traspatios. Dentro de las especies de mayor consumo regional en Oaxaca se encuentran las flores o inflorescencias de izote (*Yucca filifera* Chabaud), maguey pulquero (*Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck), guachepil (*Diphysa americana* (Mill.) M. Sousa) y tepejilote (*Chamaedorea tepejilote* Liebm.). A continuación, se hará una descripción de cada una de las especies en temas relacionados a sus inflorescencias, uso gastronómico y aporte en compuestos bioactivos y minerales a la alimentación y salud.

Inflorescencias de izote

El género *Yucca* L., pertenece a la familia de las asparagáceas, abarca diferentes especies y es originaria del Norte y Centro de América (Fig. 1A-B). Las flores de *Yucca* spp. comúnmente se conocen como flor de yuca o de izote, chochas, palma loca, palma pita y palma china; consta de flores de color blanco amarillento y sabor amargo, atribuido al contenido de saponinas (Castañeda-Rodríguez *et al.* 2024). Para consumo se recolectan en botón, después se elimina el pedúnculo y pistilo, se cuecen en agua con sal y después se descarta el agua para quitar el sabor amargo y eliminar las saponinas; posteriormente, se usan para elaborar ensaladas, tortas capeadas, quesadillas, chileatole con camarones, tesmole, pipián, mole de camarón, entre otros (Sánchez-Trinidad 2017). Su consumo es popular durante la semana santa y forman parte de la dieta tradicional en la temporada de floración, que comprende de finales de abril a finales de mayo, aunque varía de región a región.

Inflorescencias de maguey pulquero

Las inflorescencias de maguey se conocen como cayas, bayusa, golumbos, dembos, flor de quiote, flor de maguey o manitas de maguey (Figueredo-Urbina *et al.* 2022); estas presentan un color verde amarillento a violáceo, la floración se genera cuando el agave alcanza la etapa reproductiva, la que varía entre especies, pero regularmente es entre 5 y 15 años. En Oaxaca se consumen inflorescencias de 13 especies de agave pulquero o mezcalero, dentro de estos se encuentran *A. americana* L., *A. angustifolia* Haw., *A. potatorum* Zucc., *A. salmiana*, *A. gypsicola* García-Mend. & D. Sandoval, *A. karwinskii* Zucc., *A. kerchovei* Lem., *A. marmorata* Roetzl, *A. scaposa* Gentry, *A. seemaniana* Jacobi, *A. titanota* Gentry, *A. triangularis* Jacobi y *A. angustiarum* Trel. (Santiago-Martínez *et al.* 2024). Las inflorescencias se venden en los mercados regionales como racimos, flores individuales o ‘desgranadas’ cuando están en botón con pétalos o tépalos de color verde limón y/o de tonos morados hacia el ápice

(Fig. 1C). Usualmente se consumen hervidas o cocidas en agua (Fig. 1D), con huevos revueltos o fritos, en tortitas, guisados o en salsas. Aunque cabe señalar que, en los últimos tiempos, la disponibilidad de inflorescencias de especies silvestres ha disminuido debido a que en su mayoría son extraídas para la elaboración del mezcal.

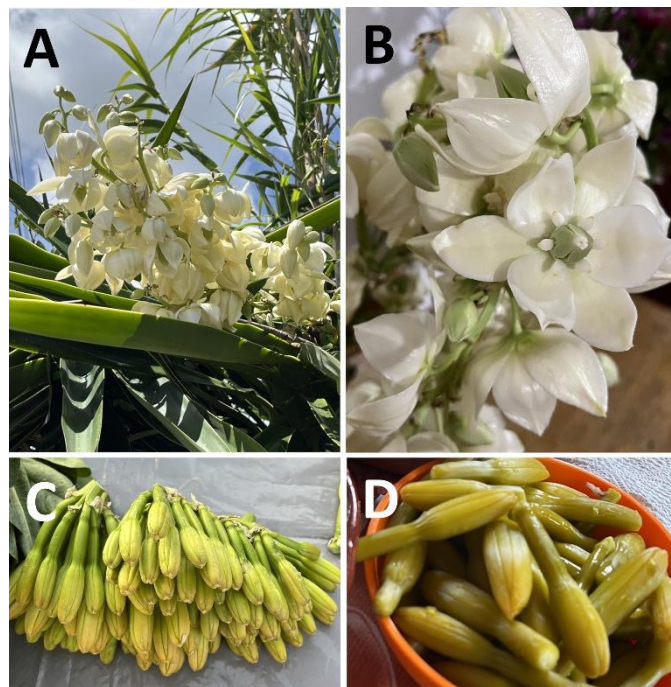


Figura 1. Flores comestibles de Oaxaca. **A-B.** Izote (*Yucca filifera*). **A.** Inflorescencia. **B.** Acercamiento de las flores. **C-D.** Botones de maguey pulquero (*Agave salmiana*). **C.** Racimos de botones crudos. **D.** Cocidos en agua. (Fotografías: Araceli Mínera Vera-Guzmán).

Inflorescencias de guachepil

El guachepil, cuachepil o huachipilin es un árbol de flores amarillas distribuido desde México hasta Colombia, apreciado por su uso como planta de ornato, combustible, medicina y alimento (Fig. 2A). Las flores de guachepil son recolectadas en árboles de regiones templadas o subtropicales, comúnmente en traspatios familiares de Zimatlán y Zaachila, Oaxaca, donde se comercializa de diciembre a abril para consumirse en semana santa o cuaresma (Manzanero-Medina *et al.* 2020, Fig. 2B). En la Sierra Sur y Valles centrales de Oaxaca, las flores se cocinan con huevos revueltos, fritas o se forman

Desde el Herbario CICY

'tortitas', y en otros casos se fríen con jitomate, cebolla y chile 'tusta' regional (Martínez-López *et al.* 2021, Fig. 2C-E).

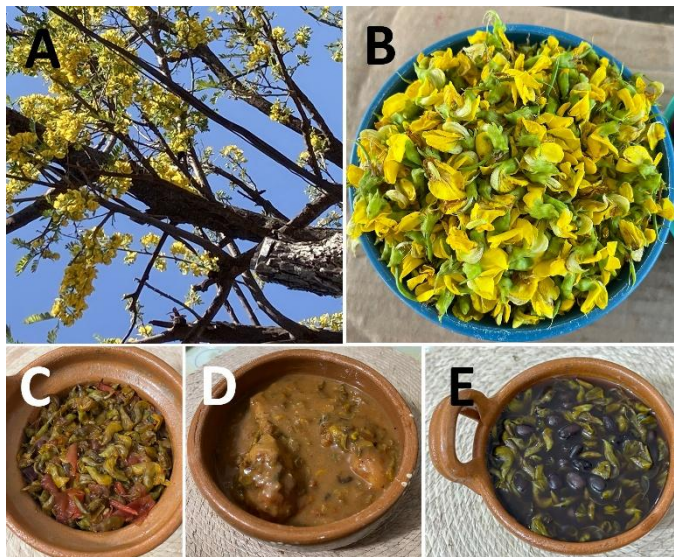


Figura 2. Flores de guachepil (*Diphysa americana*). A. Árbol con flores. B. Flores colectadas. C-E. Guisados con guachepil. C. Guachepil a la mexicana. D. Amarillo de pollo con guachepil. E. Frijoles con flores de guachepil. (Fotografías: Araceli Minerva Vera-Guzmán).

Inflorescencias de tepejilote

El tepejilote es una palma distribuida desde el sur-este de México hasta Colombia, en forma natural se reproduce en climas tropicales con bosques y selvas húmedas y cálidas. A las inflorescencias se les conoce como tepejilote o pacaya y forman parte de la cultura gastronómica mexicana. En Oaxaca, el tepejilote se recolecta entre enero y febrero para comercializarse en los mercados locales (Cruz-Arenas & Hernández 2021), siendo muy consumida de forma variada en la región zapoteca y mixe de la Sierra Norte, el Papaloapan y municipios cercanos a Huautla de Jiménez en la región de la Cañada. La inflorescencia inmadura se encuentra dentro de una espata envolvente y, en función del estado de desarrollo, el sabor varía de agridulce a amargo (Fig. 3A). Comúnmente se extrae de la vaina (Fig. 3B-C) y se pica en piezas, se fríe con cebolla, ajo, tomate, chile y huevo; en otros casos las puntas tiernas de la inflorescencia se consumen frescas sin cocinar; otras veces la vaina se pone en las brasas o sobre el comal para asarse; también se prepara cocido junto con

Flores comestibles de Oaxaca, tradición alimentaria

chile canario, limón y sal para consumirse como ensalada; y las versiones avanzadas incluyen su preparación en mole amarillo, cocinándose con frijoles, capeadas con huevo o formando parte de ensaladas frescas (Kennedy 2010, Fig. 3D-E).

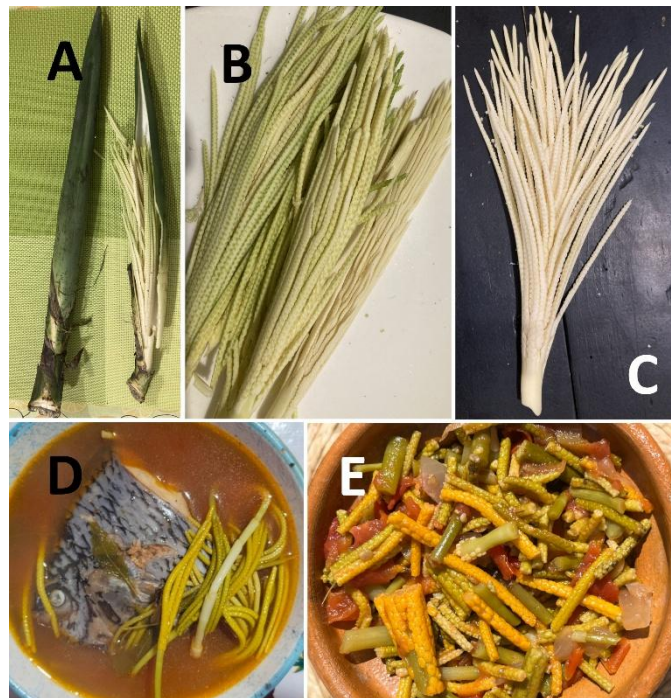


Figura 3. Tepejilote (*Chamaedorea tepejilote*). A-C. Inflorescencias inmaduras en diferentes etapas de desarrollo. D. Caldo de pescado con tepejilote. E. Tepejilote a la mexicana. (Fotografías: Araceli Minerva Vera-Guzmán).

Compuestos fenólicos y actividad antioxidante en inflorescencias comestibles

La composición de las inflorescencias indica que tiene un efecto potencial benéfico para la salud, porque mejora la nutrición y puede prevenir enfermedades relacionadas con la alimentación, p. ej. colesterol alto, triglicéridos, síndrome metabólico, etc. (Mulík & Ozuna 2020, Carboni *et al.* 2025). Las flores silvestres comestibles son fuente de proteínas, aminoácidos esenciales, carbohidratos, vitaminas y minerales (Pinedo-Espinoza *et al.* 2020). Además, contienen compuestos fenólicos y flavonoides con actividades antioxidantes, antiinflamatorias, antifúngicas y antiproliferativas (Culhuac *et al.* 2023, Pinedo-Espinoza *et al.* 2020), los que ayudan

a prevenir enfermedades crónico-degenerativas, síndrome metabólico y enfermedades gastrointestinales causadas por patógenos (Márquez-Rangel *et al.* 2025).

Nuestro grupo de trabajo recolectó de enero a junio de 2022 diferentes muestras de inflorescencias de izote en las regiones Mixteca, Valles Centrales y Sierra Sur; de maguey pulquero en la Mixteca; de guachepil en la Sierra Sur; y de tepejilote en el Papaloapan de Oaxaca. Posteriormente, se determinó el contenido de polifenoles totales, flavonoides equivalentes de catequina (EC), flavonoides equivalentes de quercetina (EQ) y actividad antioxidante

(DPPH y FRAP) por espectrometría UV-visible. Los resultados de estas evaluaciones mostraron que entre y dentro de cada especie existen diferencias significativas de acuerdo con el origen de las muestras. En contenido de polifenoles, flavonoides y actividad antioxidante el patrón de mayor a menor composición fue: guachepil > maguey pulquero ≥ izote > tepejilote (Tabla 1). Las inflorescencias de guachepil contienen valores de compuestos fenólicos y actividad antioxidante DPPH comparables con las flores de calabaza (*Cucurbita pepo* L.), que son flores de mayor consumo y tradición en la cocina mexicana y oaxaqueña (Aquino-Bolaños *et al.* 2013).

Flores comestibles/ parámetro	Izote (<i>Yucca filifera</i>) (11) ¹	Maguey pulquero (<i>Agave salmiana</i>) (10) ¹	Guachepil (<i>Diphysa americana</i>) (11) ¹	Tepejilote (<i>Chamaedorea tepejilote</i>) (11) ¹
Polifenoles totales (mg EAG g ⁻¹)	11.8 ± 1.4 ²	13.9 ± 1.3	48.3 ± 7.1	2.8 ± 0.6
Flavonoides-C (mg EC g ⁻¹)	3.1 ± 0.8	3.6 ± 0.4	26.7 ± 5.4	2.3 ± 0.2
Flavonoides-Q (mg EQ g ⁻¹)	2.3 ± 0.7	3.8 ± 0.5	14.2 ± 3.8	1.3 ± 0.3
Actividad antioxidante DPPH (μmol ET g ⁻¹)	38.0 ± 3.3	38.9 ± 4.7	252.9 ± 31.4	13.7 ± 1.7
Actividad antioxidante FRAP (μmol ET g ⁻¹)	60.1 ± 13.7	55.0 ± 6.0	403.6 ± 66.7	10.1 ± 3.4

Tabla 1. Valores medios en contenido de compuestos fenólicos y actividad antioxidante de inflorescencias comestibles de izote, maguey pulquero, guachepil y tepejilote de Oaxaca. ¹Número de poblaciones analizadas (= localidades de origen); ²Desviación estándar. EAG, EC, EQ, ET, equivalentes de ácido gálico, catequina, quercetina, y trolox, respectivamente. DPPH, 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo; FRAP, poder antioxidante reductor del hierro.

No obstante, el proceso de cocción utilizado durante la preparación de alimentos puede afectar el contenido de polifenoles totales y la actividad antioxidante. En flores de agave e izote, la cocción por vapor regularmente mantiene la mayoría de estos compuestos a diferencia del salteado (freír) o hervido donde se pueden perder hasta un 60% (Castañeda-Rodríguez *et al.* 2023, Castañeda-Rodríguez *et al.* 2024).

Sin embargo, es importante tomar en cuenta que estas inflorescencias complementan los platillos principales (Figs. 1-3); es decir, las flores agregan valor nutricional a éstos, debido a que se pueden combinar con frijoles, huevo, jitomate, chiles, etc. En general, las inflorescencias de izote, agave pulquero, guachepil y tepejilote de Oaxaca son fuente evidente de compuestos antioxidantes con efecto benéfico potencial para la salud.

Macro y microelementos en inflorescencias comestibles

Las flores comestibles proveen macro y microelementos minerales necesarios para favorecer las funciones metabólicas esenciales, mejorar la nutrición y prevenir efectos de malnutrición o desnutrición y enfermedades relacionadas con la alimentación. Por ejemplo, potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg) y fósforo (P) reducen riesgos de contraer enfermedades cardiovasculares, oncológicas, osteoporosis y diabetes; zinc (Zn), hierro (Fe), cobre (Cu) y manganeso (Mn) son cofactores en diferentes enzimas involucradas en la homeostasis celular y el sistema inmune (Rop *et al.* 2012).

Además de usar el material colectado por nuestro grupo de trabajo para determinar compuestos fenólicos y actividad antioxidante, éste se usó para evaluar el contenido de macro y microelementos minerales mediante espectrometría de emisión óptica acoplada inductivamente (ICP–OES). Los resultados

mostraron que las inflorescencias de tepejilote aportan mayores concentraciones de Mg, K, Na, S y Ca, y de Cu, Mn, Si, Zn y Fe que las otras especies evaluadas. A través de especies, de mayor a menor concentración de macro y microelementos, los patrones fueron: $K > Ca \geq P > Mg > S > Na$ y $Si > Fe \geq Zn > Mn > Cu > Mo$ (Tabla 2). Las inflorescencias de izote, maguey pulquero y tepejilote sobresalen en K y las de guachepil en P. Las cuatro especies muestran valores altos en Mn, Si y Zn, proveen mayor cantidad de K, Ca, Mg, y valores cercanos al contenido de Cu y Fe evaluado en flores de calabaza (*Cucurbita maxima* Duch.), una flor de consumo generalizado (Ghosh & Rana 2021).

Por tanto, las inflorescencias de izote, agave, guachepil y tepejilote son fuentes de macro y microelementos minerales para mejorar la nutrición familiar. Una probable limitación para los campos sin riego es que solo se consiguen las inflorescencias en la estación de lluvias, pero solo se requiere pocas plantas y pueden cultivarse en traspatios como se rea-

Minerales evaluados	Izote (<i>Yucca filifera</i>) (11) ¹	Maguey pulquero (<i>Agave salmiana</i>) (10) ¹	Guachepil (<i>Diphysa americana</i>) (11) ¹	Tepejilote (<i>Chamaedorea tepejilote</i>) (11) ¹
Macroelementos (mg 100 g⁻¹)				
Fósforo (P)	645 ± 112 ²	558 ± 1080	586 ± 57	813 ± 78
Magnesio (Mg)	238 ± 49	311 ± 59	310 ± 22	784 ± 184
Potasio (K)	2554 ± 274	2199 ± 314	234 ± 19	3190 ± 293
Sodio (Na)	12 ± 5	11 ± 12	5 ± 2	22 ± 9
Azufre (S)	158 ± 22	97 ± 14	161 ± 25	1065 ± 60
Calcio (Ca)	526 ± 110	816 ± 305	434 ± 116	2668 ± 343
Microelementos (mg 100 g⁻¹)				
Cobre (Cu)	1.0 ± 0.2	0.7 ± 0.1	1.2 ± 0.3	1.8 ± 0.6
Manganeso (Mn)	1.1 ± 0.1	1.6 ± 0.5	1.9 ± 0.4	8.1 ± 2.1
Silicio (Si)	11.4 ± 4.9	5.7 ± 1.2	9.3 ± 3.1	134.8 ± 28.4
Zinc (Zn)	5.2 ± 1.2	4.5 ± 0.8	4.6 ± 0.5	8.5 ± 0.6
Hierro (Fe)	3.7 ± 1.1	3.1 ± 0.4	5.1 ± 0.7	9.6 ± 1.5
Molibdeno (Mo)	0.1 ± 0.02	0.1 ± 0.02	0.4 ± 0.2	ND

Tabla 2. Valores medios del contenido de macro y microelementos minerales en inflorescencias comestibles de izote, maguey pulquero, guachepil y tepejilote de Oaxaca. ¹Entre paréntesis, número de poblaciones analizadas (= localidades de origen); ²Desviación estándar; ND, niveles no detectados.

liza con el tepejilote en la región del Papaloapan y con el izote en Valles Centrales de Oaxaca.

El potencial nutricional y nutraceutico aquí descrito de las inflorescencias de izote, cacaya, guachepil y tepejilote, abre la posibilidad de explorar o probar otros sabores, formas de aprovechamiento de otras flores e inflorescencias que ya se consumen entre comunidades originarias (p. ej. *Erythrina americana* Mill. –gasparito). La información aquí presentada también ayudará a preservar las especies nativas, a fomentar el conocimiento tradicional representado en formas de aprovechamiento en platillos y es una forma de recrear sabores en fuentes alternativas de alimentos. Además, esta información también resalta la importancia de las inflorescencias comestibles como una fuente de compuestos antioxidantes y minerales esenciales benéficos para la salud y con potencial preventivo de enfermedades no transmisibles relacionadas con la alimentación.

Agradecimientos

Al Instituto Politécnico Nacional por el financiamiento del proyecto SIP-20250559 y SIP-20252367.

Referencias

- Aquino-Bolaños E.N., Urrutia-Hernández T.A., López del Castillo-Lozano M., Chavéz-Servia J.L., Verdalet-Guzmán I. 2013.** Physicochemical parameters and antioxidant compounds in edible squash (*Cucurbita pepo*) flower stored under controlled atmospheres. *Journal of Food Quality* 36: 302-308.
- Carboni A.D., Di Renzo T., Nazzaro S., Marena P., Puppo M.C., Reale A. 2025.** A Comprehensive review of edible flowers with a focus on microbiological, nutritional, and potential health aspects. *Foods* 14: 1-34. <https://doi.org/10.3390/foods14101719>
- Castañeda-Rodríguez R., Larrea V., Hernando I., Ozuna C. 2023.** Cooking changes agave flower properties, including the bioaccessibility of bioactive compounds. *International Journal of Gastronomy and Food Science* 32: 100749. <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2023.100749>
- Castañeda-Rodríguez R., Quiles A., Llorca A., Ozuna C. 2024.** How to cook *Yucca* spp. flowers? *Applied Food Research* 4: 100414. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2024.100414>
- Cruz-Arenas R.A.C., Hernández, A.M.C. 2021.** Mercados, hierbas y comerciantes: el intercambio de herbáceas en el tianguis de Ixtlán de Juárez, Oaxaca. *Etnobiología* 19: 79-96.
- Culhuac B.E., Maggiolino A., Elghandour M.M.M.Y., De Palo P., Salem A.Z.M. 2023.** Antioxidant and anti-inflammatory properties of phytochemicals found in the *Yucca* Genus. *Antioxidants* 12: 574. <https://doi.org/10.3390/antiox12030574>
- Figueredo-Urbina C.J., Álvarez-Ríos cG.D., Cortés Zárraga. 2022.** Edible flowers commercialized in local markets of Pachuca de Soto, Hidalgo, Mexico. *Botanical Sciences* 100: 120-138. <https://doi.org/10.17129/botsci.2831>
- Ghosh P., Rana S.S. 2021.** Physicochemical, nutritional, bioactive compounds and fatty acid profiling of Pumpkin flower (*Cucurbita maxima*), as a potential functional food. *SN applied sciences* 3:1-14. <https://doi.org/10.1007/s42452-020-04092-0>
- Kennedy D. 2010.** Oaxaca al gusto, an infinite gastronomy (1era ed). University of Texas Press. 758 p
- Manzanero-Medina G.I., Vásquez-Dávila M.A., Lustre-Sánchez H., Pérez-Herrera A. 2020.** Ethnobotany of food plants (quelites) sold in two traditional markets of Oaxaca, Mexico. *South African Journal of Botany* 130: 215-223. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2020.01.002>
- Mapes C., Basurto F. 2016.** Biodiversity and edible plants of Mexico. En: Lira R., Casas A. Blancas J. Eds. *Ethnobotany of Mexico*, pp. 83-131. Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-6669-7_5
- Márquez-Rangel I., Cruz M., Neira-Vielma A.A., Ramírez-Barrón S.N., Aguilar-Zarate P., Belmares R. 2025.** Plants from arid zones of Mexico: bioactive compounds and potential use for food production. *Resources* 14: 13. <https://doi.org/10.3390/resources14010013>

Martínez-López G., Palacios-Rangel M.I., Guízar No-lazco E., Villanueva Morales A. 2021. Usos locales y tradición: estudio etnobotánico de plantas útiles en San Pablo Cuatro Venados (Valles Centrales, Oaxaca). *Polibotánica* 52: 193-212.

<https://doi.org/10.18387/polibotanica.52.13>

Mulík S., Ozuna C. 2020. Mexican edible flowers: cultural background, traditional culinary uses, and potential health benefits. *International Journal of Gastronomy and Food Science* 21: 1-14.

<https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2020.100235>

Pinedo-Espinoza J.M., Gutiérrez-Tlahque J., Santiago-Saenz Y.O., Aguirre-Mancilla C.L., Reyes-Fuentes M., López-Palestina C.U. 2020. Nutritional composition, bioactive compounds and antioxidant activity of wild edible flowers consumed in semiarid regions of Mexico. *Plant Foods for Human Nutrition* 75: 413-419.

<https://doi.org/10.1007/s11130-020-00822-2>

Rop O., Mlcek J., Jurikova T., Neugebauerova J., Vabkova J. 2012. Edible flowers—a new promising source of mineral elements in human nutrition. *Molecules* 17: 6672-6683.

<https://doi.org/10.3390/molecules17066672>

Sánchez-Trinidad L. S. 2017. Las flores en la cocina Veracruzana. Dirección General de Culturas Populares, Indígenas y Urbanas. 286 p.

Santiago-Martínez A., Martínez-Gutiérrez G.A., Pérez-Herrera A., Morales-García I. 2024. Panorama actual del conocimiento tradicional de agaves comestibles en Oaxaca. En: Toledo-López A., Morales-García I., Martínez-Gutiérrez G.A. (Eds.) *Aspectos Socio-Económicos del Agave-Mezcal*. RE-NIECYT, pp. 59-90.

¿Estrés en tu ensalada? La lechuga sufre y se defiende ante el estrés oxidativo

Jorge Octaviano Gómez Castrejon¹, María Myrna Solís Oba², María de Jesús Perea Flores^{3*}
y Hugo Martínez Gutiérrez^{3**}

¹Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Instituto Politécnico Nacional, Unidad Profesional Adolfo López Mateos, Zacatenco, Av. Wilfrido Massieu 399, Col. Nueva Industrial Vallejo, 07738, Gustavo A. Madero, Ciudad de México, México.

² Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada del Instituto Politécnico Nacional. Carretera Estatal Santa Inés Tecuexcomac-Tepetitla, km. 1.6, 90700, Tepetitla de Lardizábal, Tlaxcala, México.

³ Centro de Nanociencias y Micro y Nanotecnologías, Instituto Politécnico Nacional, Unidad Profesional “Adolfo López Mateos”, Luis Enrique Erro s/n, Zacatenco, 07738, Ciudad de México, México.

*mpereaf@ipn.mx, **humartinez@ipn.mx

Resumen

La lechuga es una de las hortalizas de mayor presencia en la dieta, no solo de los mexicanos, sino a nivel mundial, siendo un ingrediente básico de ensaladas, tacos, tortas y diversos platillos. Además de aportar vitaminas y minerales, la lechuga posee propiedades depurativas y antiinflamatorias; sin embargo, como consecuencia del calentamiento global, su cultivo enfrenta un incremento en la temperatura, mayor radiación solar, episodios de sequía y alteraciones en la disponibilidad de agua, todos estos son factores que producen estrés oxidativo y afectan su crecimiento y valor nutricional. Para contrarrestar este fenómeno, la lechuga activa sistemas antioxidantes que minimizan el daño celular. Comprender estos mecanismos permite el desarrollo de nuevas estrategias que promuevan la sostenibilidad agrícola y la seguridad alimentaria.

Palabras clave: Antioxidantes, contaminación, defensa, medioambiente, ROS.

La lechuga (*Lactuca sativa* L.) es una hortaliza de hoja verde ampliamente consumida a nivel mundial, reconocida por su alto contenido de vitaminas, minerales y compuestos antioxidantes. Gracias a su bajo aporte calórico y a su elevado contenido de agua, es un alimento fundamental en dietas saludables y balanceadas. A nivel global, se considera la cuarta hortaliza más consumida, lo que resalta su importancia tanto nutricional como económica. Además de su valor alimenticio, la lechuga presenta diversas propiedades funcionales, entre las que destacan sus efectos depurativos y antiinflamatorios, así como su capacidad para inducir el sueño y contribuir a la reducción de convulsiones. Estas características la convierten no solo en un alimento básico sino también en un cultivo de interés por sus

Fitocompuestos	Fenólicos, taninos, esteroides, carbohidratos glicósidos, flavonoides, flavonol, quercetina, ácido cafeico, ácido ascórbico, goma, caroteno, alcaloide (lactucarium, mezcla de lactorina con tres principios amargos: lectucina, lectopicrina y ácido láctico).
Nutrientes	Proteínas, carbohidratos, grasas, fibra dietética, cenizas, agua.
Vitaminas	Complejo B, vitamina B1, vitamina B2, vitamina B3, vitamina B6, biotina, colina, folato, ácido pantoténico, vitamina C, vitamina A, vitamina D, vitamina E.
Minerales	Boro, calcio, cloruro, cromo, cobre, yodo, hierro, magnesio, manganeso, molibdeno, fósforo, potasio, selenio, sodio, zinc.
Ácidos grasos	Ácido graso omega-3, ácido linolénico, alanina, arginina, ácido aspártico, cisteína, ácido glutámico, glicina, histidina, isoleucina, leucina, lisina, metionina, fenilalanina, prolina, serina, treonina, triptófano, tirosina.

Tabla 1. Composición química de la lechuga (Tomado de Oladimeji & Kumar 2023).

beneficios para la salud humana (Tabla 1). En el 2023, México tuvo una producción de lechuga de 552 940 toneladas, siendo los estados de Guanajuato, Zacatecas y Puebla los líderes de producción, con 27.4 %, 18.2 % y 13.6 %, respectivamente (SIAP 2025). Las variedades de lechuga mayormente consumidas en nuestro país son 4: lechuga romana, iceberg, escarola y baby leaf (Fig. 1).



Figura 1. Variedades de lechugas consumidas mayormente en México. (Ilustración: Alberto Peña utilizando BioRender y fotografías de Dgsiap).

Para que las diferentes variedades de lechuga aporten sus beneficios, deben desarrollarse en un entorno donde el agua, nutrientes, luz, temperatura y humedad se encuentren en equilibrio (Fig. 2). En nuestro país, el 96 % de los cultivos de lechuga se

realizan en modalidad de riego, en clima fresco, temperatura óptima de crecimiento de 15 – 18 °C, requieren de un sustrato rico en nutrientes y tiene un ciclo de cultivo de 60 – 90 días (SADER 2021). Si un factor se altera, la lechuga podría dejar de crecer, marchitarse e incluso morir. Esta alteración causada por condiciones ambientales se conoce como estrés ambiental, el cual, cuando es generado sobre un cultivo, puede clasificarse dependiendo del componente que se encuentre alterado, ya sea por salinidad, sequía, bajas temperaturas, falta de nutrientes y/o exceso de agua. En todos los casos, éste conlleva a la afectación directa de la producción vegetal y a la disminución de los valores nutricionales que pueden aportar los cultivos a la dieta humana, esto incluye a la lechuga. Dentro de los impactos más comunes del estrés ambiental está la generación y aumento de la producción de moléculas altamente reactivas o también llamadas Especies Reactivas de Oxígeno (ROS), las cuales son moléculas inestables y se encuentran en el organismo vegetal.

Estrés oxidativo

Para entender qué es el estrés oxidativo, es importante conocer que el oxígeno es considerado como el elemento más importante para la vida en el planeta Tierra, ya que es indispensable para la existencia y el desarrollo de los seres vivos, su relevancia se reduce a la actividad química que tiene para unirse con otros elementos y compuestos. Por ejemplo,

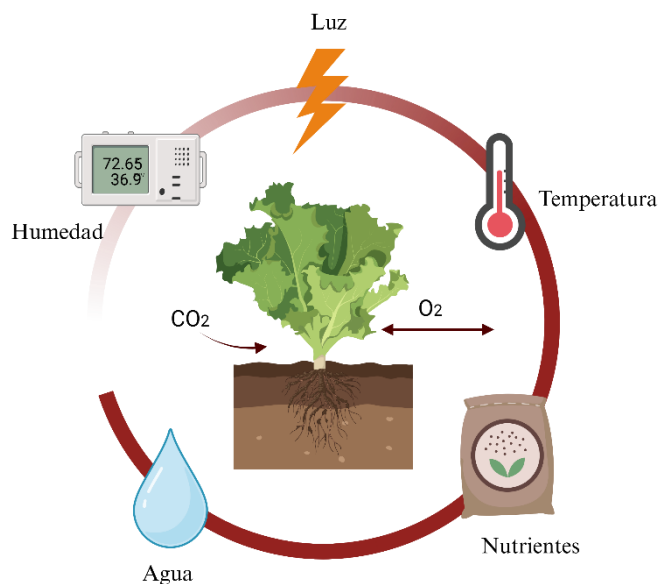


Figura 2. Factores principales para el crecimiento de un cultivo agrícola. (Ilustración: Alberto Peña utilizando BioRender).

puede unirse al hidrógeno (el cual tiene un electrón libre) y producir la molécula de agua, las cuales pueden ser absorbidas por la raíz desde el suelo y posteriormente, ser aprovechadas en algún proceso del cultivo agrícola. Debido a esta misma reactividad, el oxígeno genera las ROS en las células vegetales; específicamente dentro estructuras llamadas orgánulos, que funcionan como compartimentos donde ocurren procesos esenciales para la vida de la célula. En este contexto, son las mitocondrias quienes están encargadas de generar energía mediante la respiración celular; y los cloroplastos, que son los responsables de la fotosíntesis, el proceso mediante el cual las plantas usan la luz para fabricar su alimento.

Las ROS son capaces de reaccionar fácilmente con otras sustancias dentro de la célula. Entre ellas se encuentran: **1)** el radical hidroxilo ($\bullet\text{OH}$), una forma extremadamente reactiva del oxígeno que puede causar daños rápidamente; **2)** el anión superóxido ($\text{O}_2\bullet^-$) es una especie inestable que se produce durante la respiración y la fotosíntesis, y puede dar origen a otras ROS más dañinas; **3)** el oxígeno singlete ($^1\text{O}_2$) es una versión energizada del oxígeno normal que se produce en presencia de la luz, y puede afectar a la célula si se acumula y; **4)** el peróxido de hidrógeno (H_2O_2) es más estable y puede desplazarse

dentro de la célula, así como participar en la comunicación entre sus componentes. En condiciones normales, estas moléculas cumplen funciones importantes, como participar en la señalización celular y ayudar a neutralizar compuestos que no son necesarios. Sin embargo, cuando la producción de las ROS supera la capacidad de la planta para controlarlas, se produce un desequilibrio conocido como estrés oxidativo (Fig. 3). De manera sencilla, el estrés oxidativo puede definirse como una condición en la que la acumulación excesiva de estas moléculas reactivas provoca daños en las células de la planta, afectando su funcionamiento normal (Kolahi *et al.* 2020).

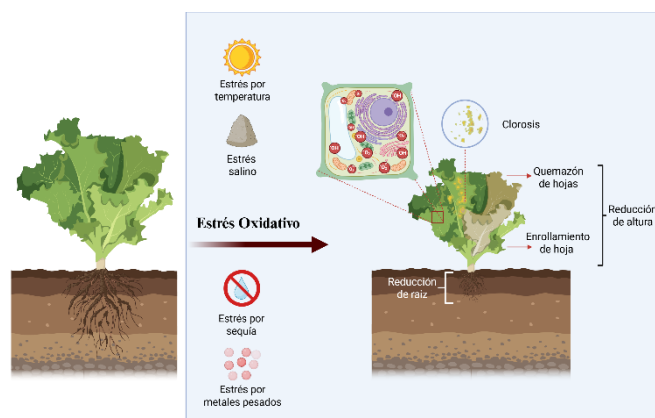


Figura 3. Estrés oxidativo en cultivos de lechuga. (Ilustración: Alberto Peña utilizando BioRender).

De manera visual, el estrés oxidativo se manifiesta a través de síntomas como hojas amarillentas o con zonas secas, marchitez y un crecimiento más lento o limitado. Si miramos lo que pasa dentro de la célula, se observaría, la pérdida de integridad en las membranas y alteraciones en orgánulos clave como cloroplastos y mitocondrias, estos daños afectan el equilibrio interno y dificultan su funcionamiento normal (desequilibrios iónicos y disfunción). En el nivel molecular, a una escala aún más pequeña, las reacciones de oxidación deterioran los lípidos que forman las membranas, alteran la estructura de las proteínas y lesionan el ADN, comprometiendo procesos esenciales para la vida de la planta, como la fotosíntesis y la respiración. Estos efectos negativos pueden presentarse en todas las partes de la lechuga, incluyendo hojas, raíz y tallo, afectando de manera general su desarrollo y su salud, y por ende

repercutiendo en su comercialización (Kolahi *et al.* 2020).

Efectos morfológicos en los cultivos

El estrés oxidativo (Fig. 3) puede afectar a la mayoría de los componentes de la célula, puede oxidar o dañar químicamente mediante reacciones con oxígeno fragmentos del ADN (información genética), degradar (romper o descomponer su estructura) el ácido ribonucleico (ARN, el cual es el mensajero dentro de la célula), destruir lípidos y proteínas, así como causar la fuga de iones (pérdida de minerales y sales). En la morfología de la lechuga se presentan diferentes efectos, los cuales pueden depender del tipo de estrés ambiental al que se enfrenta: **1)** el estrés hídrico puede afectar la altura de la lechuga, la longitud de la raíz, la biomasa total y la raíz/brote. **2)** El estrés salino provoca la reducción del área foliar, contenido de clorofila, la tasa de transpiración y absorción de agua (Rashid *et al.* 2024). **3)** El estrés por temperatura causa quemazón de hojas y tallos, pérdida de hojas, inhibición del crecimiento de brotes y raíces, encogimiento de semillas y daños a los frutos. **4)** Los metales pesados provocan clorosis, es decir, el amarillamiento de las hojas debido a la disminución o daño de la clorofila, el pigmento verde responsable de captar la luz y permitir la fotosíntesis; al verse afectada la biosíntesis de clorofila, la planta pierde eficiencia para producir energía, lo que limita su crecimiento y se refleja en una menor altura y desarrollo radicular en la lechuga (Kolahi *et al.* 2020).

Estrategias de defensa

Para combatir el estrés oxidativo las plantas, incluyendo la lechuga, cuentan con un sistema de defensa antioxidante, el cual se divide en antioxidantes enzimáticos y no enzimáticos (Fig. 4). Los primeros operan como una defensa activa que controla el daño celular, y son capaces de transformar los ROS en moléculas más sencillas, como el agua y el oxígeno. En este grupo se encuentran enzimas como superóxido dismutasa (SOD), catalasa (CAT), ascorbato peroxidasa (APX), entre otras.

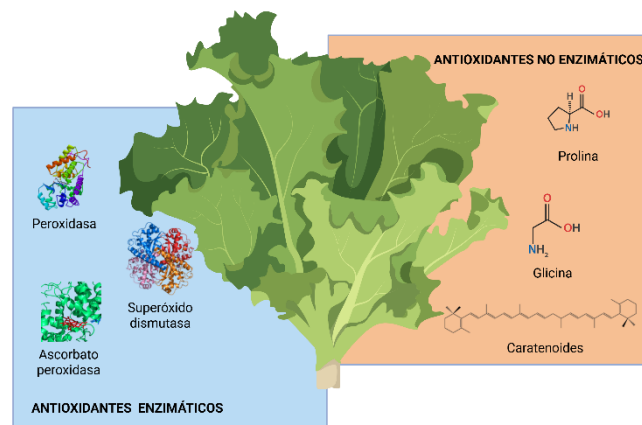


Figura 4. Defensa contra el estrés oxidativo. (Ilustración: Alberto Peña utilizando BioRender).

Los antioxidantes no enzimáticos actúan como un escudo protector que no cataliza reacciones químicas, pero atrapa sustancias dañinas (ROS). Entre estos antioxidantes se encuentran:

- **Ácido ascórbico:** Se encuentra en abundancia en los tejidos de las hojas y en los estomas del cloroplasto (donde se regula el intercambio de gases y la transpiración), puede desintoxicar las ROS para proteger los componentes celulares (Mishra *et al.* 2023).
- **Flavonoides:** Elimina eficazmente el oxígeno singlete, que es una forma excitada del oxígeno mucho más reactiva de lo normal. Gracias a esta función, los flavonoides protegen estructuras clave como el núcleo y los cloroplastos, que son esenciales para el funcionamiento y la fotosíntesis de la planta (Agati *et al.* 2020).
- **Tocoferoles:** Protegen las membranas celulares al eliminar el oxígeno singlete, evitando que el daño oxidativo debilite la estructura y estabilidad de la célula (Mishra *et al.* 2023).
- **Prolina:** Es un aminoácido que elimina ROS, favorece el funcionamiento adecuado de las enzimas antioxidantes y es quelante de metales, es decir, tiene la capacidad de atrapar iones metálicos tóxicos y reducir su efecto dañino en la célula (Mishra *et al.* 2023).
- **Carotenoides:** Eliminan ROS y la peroxidación lipídica, es decir, el daño que sufren las grasas de

las membranas celulares cuando se oxidan. Este efecto se ha observado en liposomas, que son pequeñas estructuras que imitan a las membranas de las células, mostrando su capacidad antioxidante para proteger a las células y a los órganos del daño oxidativo (Mordi *et al.* 2020).

- Melatonina: Se produce en mitocondrias y cloroplastos, protegen a las plantas frente al estrés oxidativo. Actúa neutralizando directamente las ROS y activa genes que estimulan la producción de otros antioxidantes, fortaleciendo la defensa celular (Yan *et al.* 2023).

Aplicación de estrategias tecnológicas

Las estrategias que se han implementado para ayudar a mitigar el estrés oxidativo en la lechuga comprenden desde la aplicación de antioxidantes de manera exógena hasta el uso de nanopartículas.

1) Los antioxidantes son sustancias que protegen a las células del daño que causa el estrés oxidativo a las plantas, neutralizando a estas moléculas que pueden afectar su funcionamiento. La utilización de antioxidantes de manera exógena puede contribuir a mejorar la salud y resiliencia de las diferentes variedades de lechugas. Se ha demostrado un mayor crecimiento y tolerancia al estrés en diversas especies vegetales tras el uso de compuestos antioxidantes. Por ejemplo, el ácido ascórbico mejora el crecimiento, la actividad de enzimas antioxidantes y la capacidad de osmorregulación en cebada y frijol común bajo estrés salino, la melatonina incrementa la actividad antioxidante, mejora la fotosíntesis, preserva la integridad de las membranas y regula la expresión de genes de defensa en hortalizas, cereales, cucurbitáceas y leguminosas bajo condiciones de salinidad y sequía (Yan *et al.* 2023). La aplicación foliar de β -caroteno exógeno aumenta la acumulación de osmolitos compatibles como prolina y glicina-betaína, lo que se traduce en una mayor tolerancia al estrés en trigo expuesto a cloruro de sodio (Nadeem *et al.* 2025). La combinación de melatonina con zeolita ha logrado mejorar la defensa antioxidante, reducción de la absorción de metales pesados y pro-

mueve la disponibilidad de nutrientes.

2) El uso de nanopartículas es una de las estrategias más empleadas actualmente; estas partículas son extremadamente pequeñas (< 100 nm) y, gracias a su tamaño, pueden ser absorbidas y aprovechadas con mayor facilidad por las plantas. Por ejemplo, las nanopartículas de óxido de grafeno funcionalizadas con prolina, es decir, modificadas químicamente con prolina en su superficie, han demostrado reducir el estrés en plantas de bálsamo de Moldavia (Fatehi *et al.* 2022). El nanocebado de semillas es un procedimiento previo a la siembra, donde las semillas se sumergen en una solución con nanopartículas para facilitar su germinación y protegerlas del estrés oxidativo. Esta aplicación de nanopartículas (metálicas u óxidos metálicos) activa procesos fisiológicos en las lechugas y pueden aumentar su resistencia al estrés. Por ejemplo, las nanopartículas de óxido de zinc (ZnO) reducen la toxicidad por cadmio en arroz y maíz (Faizan *et al.* 2024).

Otra estrategia aplicada para reducir el estrés oxidativo es el manejo adecuado de los nutrientes, para regular el estrés causado por cadmio. Se encontró que la aplicación exógena de hierro disminuye la concentración de cadmio en arroz y tomate (Hernández-Baranda *et al.* 2019).

Asimismo, el hierro nanoquelado (partículas de hierro muy pequeñas y protegido por sustancias que facilitan su absorción) logró disminuir el contenido de peróxido de hidrógeno en lechuga sometidas a estrés por cadmio (Heydari *et al.* 2024).

También, se ha explorado el campo de los bioestimulantes (sustancias de origen biológico que activan mecanismos en las plantas para que crezcan sanas y resistentes), como los extractos vegetales, para mitigar el estrés oxidativo en las lechugas. Se ha encontrado que, en condiciones de estrés por metales pesados, los extractos de algas marinas y extractos de moringa han ayudado al aumento de la raíz y brotes, número de hojas y han mejorado el contenido de clorofila, teniendo una mayor calidad y rendimiento (Han *et al.* 2024).

Conclusiones

El estrés oxidativo representa una de las principales amenazas para el cultivo de lechuga en un contexto de cambio climático y deterioro ambiental. Cuando factores como la temperatura, la salinidad o la disponibilidad de agua se alteran, la planta de lechuga produce cantidades excesivas de especies reactivas de oxígeno que dañan su estructura, reducen su crecimiento y disminuyen su valor nutrimental. A pesar de ello, la lechuga cuenta con sofisticados sistemas de defensa antioxidante (enzimáticos y no enzimáticos) que les permiten mitigar parte del daño y mantener sus funciones vitales. El avance en estrategias tecnológicas, como la aplicación de antioxidantes exógenos, nanopartículas, bioestimulantes y manejo nutrimental, ofrece nuevas alternativas para fortalecer estas defensas naturales y hacer frente a un entorno cada vez más desafiante. Comprender estos mecanismos no solo mejora la producción agrícola, sino que también abre la puerta a prácticas más sostenibles y resilientes, esenciales para garantizar la calidad y disponibilidad de este alimento fundamental en nuestra dieta.

Referencias

- Agati G., Brunetti C., Fini A., Gori A., Guidi L., Landi M., Sebastiani F., Tattini M. 2020.** Are flavonoids effective antioxidants in plants? Twenty years of our investigation. *Antioxidants* 9: 1098. <https://doi.org/10.3390/antiox9111098>
- Faizan M., Sharma P., Sultan H., Alam P., Sehar S., Rajput V.D., Hayat S. 2024.** Nano-priming: Improving plant nutrition to support the establishment of sustainable agriculture under heavy metal stress. *Plant Nano Biology* 10: 100096. <https://doi.org/10.1016/j.plana.2024.100096>
- Fatehi S.F., Oraei M., Gohari G., Akbari A., Faramarzi A. 2022.** Proline-functionalized graphene oxide nanoparticles (GO-pro NPs) mitigate salt-induced adverse effects on Morpho-physiological traits and essential oils constituents in Moldavian balm (*Dracocephalum moldavica* L.). *Journal of Plant Growth Regulation* 41(7): 2818–2832. <https://doi.org/10.1007/s00344-021-10477-1>
- Han M., Kasim S., Yang Z., Deng X., Saidi N.B., Uddin M.K., Shuib E.M. 2024.** Plant extracts as biostimulant agents: A promising strategy for managing environmental stress in sustainable agriculture. *Phyton* 93(9): 2149–2166. <https://doi.org/10.32604/phyton.2024.054009>
- Hernández-Baranda Y., Rodríguez-Hernández P., Peña-Icart M., Meriño-Hernández Y., Rubio O. 2019.** Toxicidad del Cadmio en las plantas y estrategias para disminuir sus efectos. Estudio de caso: El tomate. *Cultivos tropicales* 40(3): 10. <https://doi.org/10.1234/CT.V40I3.1524>
- Heydari R., Mohajel Kazemi E., Kolahi M., Movafeghi A., Nosrati H. 2024.** Modulation of cadmium induced oxidative stress pathways in lettuce (*Lactuca sativa* L.) by nano-chelated iron. *Scientia Horticulturae* 337: 113530. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2024.113530>
- Kolahi M., Mohajel Kazemi E., Yazdi M., Goldson-Bar-naby A. 2020.** Oxidative stress induced by cadmium in lettuce (*Lactuca sativa* Linn.): Oxidative stress indicators and prediction of their genes. *Plant Physiology and Biochemistry* 146: 71–89. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2019.10.032>
- Mishra N., Jiang C., Chen L., Paul A., Chatterjee A., Shen G. 2023.** Achieving abiotic stress tolerance in plants through antioxidative defense mechanisms. *Frontiers in Plant Science* 14: 1110622. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1110622>
- Mordi R. C., Ademosun O. T., Ajanaku C.O., Olanrewaju I. O., Walton J. C. 2020.** Free radical mediated oxidative degradation of carotenes and xanthophylls. *Molecules* (Basel, Switzerland) 25(5): 1038. <https://doi.org/10.3390/molecules25051038>
- Nadeem M., Shahbaz M., Ahmad F., Waraich E.A. 2025.** Enhancing wheat resistance to salinity: The role of gibberellic acid and β -Carotene in morphological, yielding and ionic adaptations. *Inżynieria Ekologiczna* 26(6): 76–94. <https://doi.org/10.12911/22998993/202091>
- Oladimeji A.V., Kumar A.B. 2023.** Therapeutic profile of lettuce: Leafy vegetable for moderate consumption (A review). *International Journal of Advanced Biochemistry Research* 7(2S): 254–258. <https://doi.org/10.33545/26174693.2023.v7.i2sd.218>

Rashid M., Noreen S., Shah K.H., Gaafar A.-R.Z., Waqar R. 2024. Morphological and biochemical variations caused by salinity stress in some varieties of *Pennisetum glaucum* L. Journal of King Saud University. Science 36(1): 102994.

<https://doi.org/10.1016/j.jksus.2023.102994>

SADER (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural). 2021. La protagonista de las ensaladas. Gobierno de México.

<https://www.gob.mx/agricultura/articulos/la-protagonista-de-las-ensaladas> (consultado 10 Febrero 2026).

SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2025. Cultivo de lechuga: producción nacional, cierre agrícola 2023. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural.

<https://sedarh.gob.mx/seia/cultivos/lechuga>

(consultado 10 Febrero 2026).

Yan D., Wang J., Lu Z., Liu R., Hong Y., Su B., Wang Y., Peng Z., Yu C., Gao Y., Liu Z., Xu Z., Duan L., Li R. 2023. Melatonin-mediated enhancement of photosynthetic capacity and photoprotection improves salt tolerance in wheat. *Plants* 12(23): 3984. <https://doi.org/10.3390/plants12233984>

Más allá de las especies: explorando las diferentes dimensiones de la diversidad biológica

Víctor Alexis Peña-Lara^{1*}, José Luis Hernández-Stefanoni¹, Juan Manuel Dupuy Rada¹,
Germán Carnevali Fernández-Concha¹ y Lucía Sanaphre-Villanueva^{2,3}

¹Unidad de Recursos Naturales, Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C. Calle 43 No. 130 x 32 y 34. Col. Chuburná de Hidalgo, 97205, Mérida, Yucatán.

²Universidad Autónoma de Querétaro, Facultad de Ciencias Naturales. Carretera San Juan del Río - Jalpan km 119., 76490, Camargo, Peñamiller, Querétaro, México.

³Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación. Av. Insurgentes Sur 1582, Col. Crédito Constructor. 03940, Benito Juárez, Ciudad de México, México.

*penalaravictoralexis@gmail.com

Resumen

La biodiversidad comprende la variedad de seres vivos y ecosistemas, incluyendo la diversidad dentro de las especies, entre especies y de hábitats. La diversidad entre especies puede evaluarse considerando tres dimensiones: taxonómica, funcional y filogenética. La taxonómica mide la riqueza y abundancia de especies; la funcional, sus características y roles ecológicos; y la filogenética, las relaciones evolutivas entre ellas. Estos enfoques permiten identificar especies raras o restringidas a ciertas regiones, con funciones ecológicas únicas, así como áreas prioritarias para la conservación. La biodiversidad global se ha visto reducida por diversas actividades humanas,

lo que subraya la necesidad de protegerla y de realizar estudios que contribuyan a su salvaguarda.

Palabras clave: Conservación, diversidad filogenética, diversidad funcional, diversidad taxonómica.

Cuando hablamos de biodiversidad, generalmente nos limitamos a pensar en la variedad de árboles, animales y plantas que observamos en nuestra vida cotidiana. Sin embargo, la biodiversidad es un concepto mucho más amplio. Se refiere a la variedad de todos los seres vivos y de los ecosistemas a los que pertenecen (terrestres, marinos o acuáticos), incluyendo la diversidad dentro de cada especie, entre distintas especies y entre los propios ecosistemas (CDB 1992). Para entender mejor la diversidad entre especies,

conviene definir qué es una especie. Aunque los biólogos aún debaten la definición exacta, de manera general se considera una especie como un conjunto de organismos que comparten características similares y que pueden reproducirse entre sí. En este ensayo nos enfocamos en la biodiversidad a nivel de especie, la cual resulta fundamental para el bienestar humano. Cada especie contribuye de manera diferente a los recursos y servicios que necesitamos: nos proporciona alimentos, agua, madera, medicinas y materiales para refugio (servicios de provisión), ayuda a regular el clima, protegernos de inundaciones y mantener la salud y fertilidad del suelo (servicios de regulación y soporte), y también ofrece servicios culturales, como la posibilidad de disfrutar de la

naturaleza o de su valor estético y espiritual, que enriquecen nuestra calidad de vida. Todos estos servicios, tanto visibles como menos evidentes, son esenciales para nuestra supervivencia y bienestar (Fig. 1). Por eso, el estudio de la biodiversidad y el seguimiento de sus cambios se han convertido en una de las tareas centrales de la ciencia. A primera vista, esta labor parece inmensa y sumamente compleja: ¿cómo estudiar algo que incluye tantas formas de vida y procesos tan diversos? Una manera de abordarla es reconocer que la diversidad de especies puede ser analizada considerando tres dimensiones complementarias: diversidad taxonómica, diversidad funcional y diversidad filogenética.



Figura 1. Dimensiones de la diversidad biológica (taxonómica, funcional y filogenética) y ejemplos de los beneficios o servicios ecosistémicos que proporcionan (Fotografía y composición gráfica: Víctor Peña)

La diversidad taxonómica se enfoca en la cantidad de especies presentes en un sitio y en cómo se distribuyen: algunas especies son muy abundantes, mientras que otras son poco frecuentes o se encuentran solo en lugares específicos. No es lo mismo un ecosistema con 10 especies donde una sola concentra el 90 % de los individuos (baja diversidad), que otro ecosistema con 10 especies en el que todos los individuos se reparten de manera más equilibrada entre las especies (alta diversidad). Esta distribución balanceada se conoce como equidad y también es un componente importante de la diversidad taxonómica, ya que los eco-

sistemas con mayor equidad suelen ser más estables y resistentes a cambios (Wang *et al.* 2021). Asimismo, a simple vista, en la Figura 2a podría parecer que existe una diversidad de especies alta debido a la abundancia de árboles. Sin embargo, al observar con atención muchas de ellas se repiten, lo que indica una baja diversidad taxonómica. En contraste, en la Figura 2b, aunque hay menos individuos, se aprecia una mayor variedad de especies, lo que refleja una alta diversidad taxonómica. Esto nos muestra que tener muchos organismos no necesariamente significa que haya una alta diversidad.

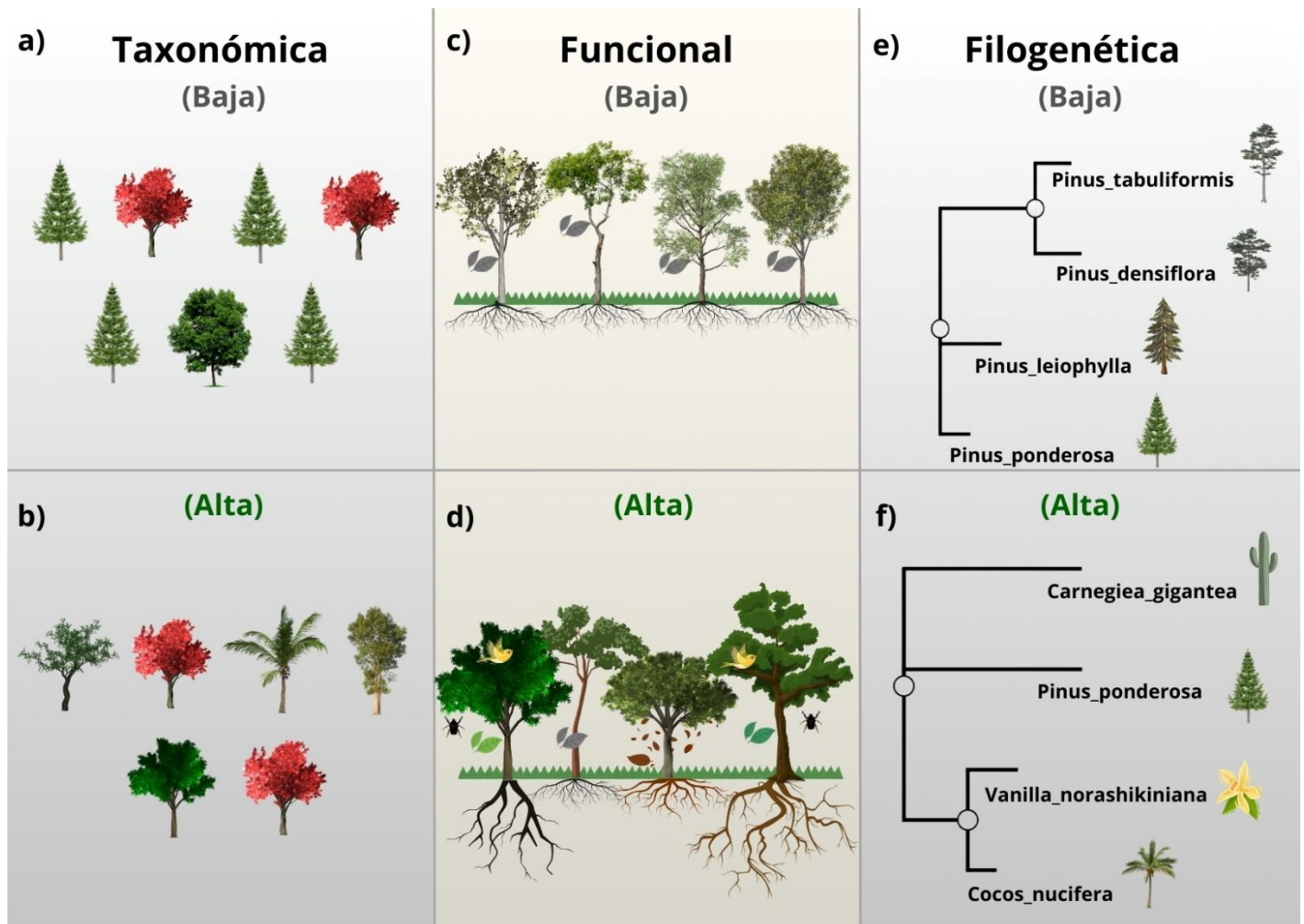


Figura 2. Ejemplos de baja y alta diversidad taxonómica (baja: 3 especies; alta: 5 especies), funcional (baja: todas con funciones similares; alta: variedad de funciones) y filogenética (baja: especies estrechamente emparentadas; alta: linajes distintos como palmas, pinos, orquídeas y cactus). (Ilustración: Víctor Peña).

La diversidad taxonómica es la forma más utilizada para medir la biodiversidad, pues resulta relativamente fácil de observar y cuantificar. Sin embargo,

esta simplicidad también limita la información que proporciona, ya que no permite conocer las funciones que desempeñan las especies dentro del ecosis-

tema. Para esto necesitamos analizar la diversidad funcional, que no solo toma en cuenta cuántas especies hay en un ecosistema, sino también qué tan diferentes son entre sí en sus estrategias para sobrevivir, crecer y reproducirse. Tales diferencias se miden mediante el uso de rasgos funcionales, que son las características de las especies, como su forma, cómo crecen y florecen durante el año, y cómo obtienen y usan los recursos (en el caso de los animales, cómo se comportan), todo lo cual determina cómo sobreviven, crecen y se reproducen. Por ejemplo, en un bosque con un periodo de sequías marcadas, algunos árboles tienen raíces profundas que les permiten acceder al agua almacenada bajo tierra (Jackson *et al.* 1996); esto les permite mantener sus hojas durante todo el año y reproducirse con frecuencia, proporcionando alimento y refugio para aves e insectos. Estas raíces también ayudan a mantener firme el suelo y evitar la erosión. Otras especies solo producen hojas durante la temporada de lluvias y las pierden cuando el suelo se seca, pero suelen tener raíces más superficiales y eficientes para captar agua en ese periodo corto (Reich 2014, Poorter & Bongers 2006); al caer y descomponerse, las hojas liberan nutrientes al suelo, aunque no todas aportan lo mismo: algunas son más ricas y fertilizan rápido el suelo, mientras que otras, más duras y pobres en nutrientes, se descomponen lentamente (Cornwell *et al.* 2008, Garnier *et al.* 2004). Esta variedad en la velocidad de descomposición es importante porque regula el ritmo con el que los nutrientes regresan al suelo y, por lo tanto, influye directamente en la fertilidad del suelo y en el funcionamiento general del ecosistema (Bardgett & van der Putten 2014, Wardle *et al.* 2004). En este sentido, en un bosque donde predominan especies con rasgos muy parecidos (baja diversidad funcional), éstas van a responder de manera similar al ambiente y van a tener efectos similares en el funcionamiento del ecosistema (Fig. 2c). En cambio, en un bosque con especies muy diferentes entre sí (mayor diversidad funcional), éstas pueden adaptarse mejor a cambios ambientales y realizar muchas funciones que hacen que el ecosistema sea más estable y productivo, generando así una mayor cantidad de servicios ecosistémicos (Fig. 2d).

Ya vimos que podemos estudiar a la biodiversidad observando y contando las especies presentes en un lugar (diversidad taxonómica), así como estimando las diferencias entre las especies en cuanto a sus rasgos funcionales (diversidad funcional). Además, podemos mirar la biodiversidad desde otro ángulo: considerando qué tan emparentadas están las especies entre sí y cuánta historia evolutiva representan, lo que se conoce como diversidad filogenética. Para ello, se analizan las relaciones evolutivas entre las especies mediante una filogenia, que suele representarse como un árbol filogenético. Este árbol es parecido a un árbol genealógico: sus ramas muestran cómo las especies están emparentadas entre sí y cuáles comparten ancestros comunes, es decir, un mismo antepasado del que se originaron. Así, mientras más cerca se encuentran dos especies en el árbol, más “familiares” son desde el punto de vista evolutivo. Este árbol se construye comparando características de las especies, como sus rasgos visibles o su información genética. Con base en estos datos se plantea una hipótesis filogenética, es decir, una propuesta científica sobre cómo están emparentadas evolutivamente las especies. En la práctica, la diversidad filogenética se estima sumando la longitud de las ramas del árbol que conectan a las especies de una comunidad, como una manera de estimar qué tan diversa es la historia evolutiva de las especies presentes en una comunidad (Faith 1992). En un ejemplo hipotético, imaginemos un bosque en donde todas las especies son “parientes muy cercanos” (como varias especies de pinos), la longitud de las ramas que las separan en el árbol filogenético sería más cortas, y compartirían un ancestro reciente, por lo que su historia evolutiva es más corta (Fig. 2e). Esto significa que las especies son evolutivamente muy similares, por lo que este primer bosque tendría una baja diversidad filogenética. En cambio, si las especies no están estrechamente emparentadas (p. ej., pinos, palmeras, orquídeas y cactus), las ramas del árbol serían más largas, lo que reflejaría que han evolucionado de manera independiente durante mucho tiempo (Fig. 2f). Esta mayor separación evolutiva se traduce en una mayor diversidad de características y, por ende, en una mayor diversidad filogenética.

Desde una perspectiva de conservación, la diversidad filogenética es de suma importancia, ya que permite orientar las acciones de protección al identificar especies filogenéticamente únicas y dirigir los recursos hacia las áreas donde se encuentran. Esto debido a que la pérdida de estas especies supondría una mayor pérdida de historia evolutiva que la extinción de especies con muchos “parientes cercanos”. Asimismo, podemos identificar sitios para la conservación en los que se maximice la protección de una mayor variedad de linajes evolutivos. Pero sus implicaciones no se limitan a la conservación. La diversidad filogenética puede ser útil en otros ámbitos, como la medicina y el aprovechamiento de los recursos naturales. Por ejemplo, si obtenemos un medicamento a partir de una planta, podemos buscar entre sus especies “hermanas” para ver si también producen el mismo compuesto útil. De esta manera, la diversidad filogenética nos ofrece pistas valiosas para explorar y aprovechar la biodiversidad de forma más informada.

Comprender estos tres aspectos de la diversidad de las especies nos ayuda a tener una visión más completa de las distintas dimensiones que la conforman y a tomar decisiones que aseguren su conservación. En conjunto, las diversidades taxonómica, funcional y filogenética ofrecen diferentes perspectivas para comprender la biodiversidad en el planeta. Nos ayudan a conocer qué especies están presentes, cuáles cumplen roles ecológicos importantes y cómo se relacionan evolutivamente entre sí. Por ello, los estudios que integran estos tres componentes son fundamentales para entender y proteger la biodiversidad, especialmente hoy en día, cuando la explotación de los recursos naturales ha provocado una disminución de la biodiversidad a nivel global. Tan solo en los ecosistemas terrestres, se estima que se ha perdido más del 20% de su biodiversidad original (Hill *et al.* 2018). Estos datos muestran la magnitud del impacto humano sobre la naturaleza y resaltan la urgencia de adoptar medidas y realizar estudios que garanticen la conservación de la biodiversidad, integrando sus diferentes componentes.

Referencias

- Bardgett R.D., van der Putten W.H. 2014.** Belowground biodiversity and ecosystem functioning. *Nature* 515(7528): 505–511. <https://doi.org/10.1038/nature13855>
- Convenio sobre la Diversidad Biológica (CBD). 1992.** Convenio sobre la Diversidad Biológica. Disponible en: <https://www.cbd.int/doc/legal/cbd-es.pdf> (Consultado el 12 de agosto de 2025).
- Cornwell W.K., Cornelissen J.H.C., Amatangelo K., Dorrepaal E., Eviner V.T., Godoy O., Hobbie S.E., Hoorens B., Kurokawa H., Pérez-Harguindeguy N., Queded H.M., Santiago L.S., Wardle D.A., Wright I.J., Aerts R., Allison S.D., van Bodegom P., Brovkin V., Chatain A., ... Ackerly D.D. 2008.** Plant species traits are the predominant control on litter decomposition rates within biomes worldwide. *Ecology Letters* 11(10): 1065–1071. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2008.01219.x>
- Faith D.P. 1992.** Conservation evaluation and phylogenetic diversity. *Biological Conservation* 61(1): 1-10. [https://doi.org/10.1016/0006-3207\(92\)91201-3](https://doi.org/10.1016/0006-3207(92)91201-3)
- Garnier E., Cortez J., Billès G., Navas M.-L., Roumet C., Debussche M., ... Toussaint J.-P. 2004.** Plant functional markers capture ecosystem properties during secondary succession. *Ecology* 85(10): 2630–2637. <https://doi.org/10.1890/03-0799>
- Hill S.L., Gonzalez R., Sanchez-Ortiz K., Caton E., Espinoza F., Newbold T., ... Purvis A. 2018.** Worldwide impacts of past and projected future land-use change on local species richness and the Biodiversity Intactness Index. *BioRxiv*: 311787. <https://doi.org/10.1101/311787>
- Jackson R.B., Moore L.A., Hoffmann W.A., Pockman W.T., Linder C.R. 1996.** A global analysis of root distributions for terrestrial biomes. *Oecologia* 108(3): 389–411. <https://doi.org/10.1007/BF00333714>
- Poorter L., Bongers F. 2006.** Leaf traits are good predictors of plant performance across 53 rain forest species. *Ecology* 87(7): 1733–1743. [https://doi.org/10.1890/0012-9658\(2006\)87\[1733:LTAGPO\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9658(2006)87[1733:LTAGPO]2.0.CO;2)

Reich P.B. 2014. The world-wide “fast–slow” plant economics spectrum: A traits manifesto. *Journal of Ecology* 102(2): 275–301.

<https://doi.org/10.1111/1365-2745.12211>

Wang X.Y., Ge Y., Gao S., Chen T., Wang J., Yu F.H. 2021. Evenness alters the positive effect of species richness on community drought resistance via

changing complementarity. *Ecological Indicators* 133: 108464.

<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.108464>

Wardle D.A., Bardgett R.D., Klironomos J.N., Setälä H., van der Putten W.H., Wall D.H. 2004. Ecological linkages between aboveground and belowground biota. *Science* 304(5677): 1629–1633.

<https://doi.org/10.1126/science.1094875>

Ganadería a pequeña escala: reservorios de diversidad vegetal en el sureste de México

Fernando Casanova-Lugo¹, Justo Ramón Enríquez-Nolasco^{2*}, Armando Escobedo-Cabrera¹
y Gilberto Villanueva-López²

¹ Tecnológico Nacional de México Campus IT de la Zona Maya. Carretera Chetumal-Escárcega Km 21.5, Ejido Juan Sarabia, 77965, Othón P. Blanco, Quintana Roo, México.

² El Colegio de la Frontera Sur, Unidad Villahermosa. Carretera Villahermosa-Reforma Km 15.5, Ranchería el Guineo, Sección II, 86280, Villahermosa, Tabasco, México.

*enriqznl@hotmail.com

Resumen

En el sureste de México, la ganadería a pequeña escala es clave para conservar la diversidad vegetal y fortalecer la resiliencia ecológica. A diferencia de los sistemas intensivos, integran árboles, arbustos y herbáceas que sirven como forraje, sombra, madera, leña, además de que mejoran el suelo y conservan saberes locales. En estados del sureste de México, estos sistemas crean paisajes multifuncionales que equilibran producción y conservación de los recursos naturales y protección del medio ambiente. Frente a amenazas como el cambio climático y la pérdida de biodiversidad, representan una alternativa sostenible para la seguridad alimentaria y el manejo biocultural del territorio.

Palabras clave: Agroforestería pecuaria, conservación biocultural, corredores biológicos, resiliencia, saberes tradicionales.

En el sureste de México, una región que alberga cerca del 50% de las especies vegetales del país (Santillán *et al.* 2021), la ganadería a pequeña escala no solo representa una actividad económica ancestral, sino también un aliado inesperado en la conservación de la biodiversidad. En un contexto global marcado por una crisis de pérdida de especies, con tasas de extinción 1,000 veces mayores que las naturales (IPBES 2019), los sistemas ganaderos tradicionales del sureste mexicano desempeñan un papel clave en la protección de la diversidad biológica. Estas prácticas desarrolladas por comunidades rurales, demuestran cómo los pequeños productores, mediante el manejo agropecuario tradicional, contribuyen activamente al mantenimiento y enriquecimiento de la diversidad vegetal en sus territorios. Los sistemas silvopastoriles combinan árboles, arbustos forrajeros y pastos con la producción ganadera. Son una alternativa sostenible que aumenta la productividad, protege la biodiversidad y previene la degradación del suelo, especialmente en regiones

como la Península de Yucatán (PY). Bajo el enfoque de agroforestería pecuaria, integran la vegetación con los animales para favorecer la sostenibilidad ecológica y productiva. A diferencia de la ganadería convencional que arrasa bosques y selvas para crear pastizales en monocultivo, los pequeños productores ganaderos del sureste de México mantienen paisajes diversificados. En sus ranchos y parcelas, conviven animales como vacas, cerdos y aves de corral con árboles nativos multipropósito, arbustos y herbáceas medicinales. Los estudios revelan que estos sistemas ganaderos tradicionales albergan hasta 120 especies vegetales por hectárea, incluyendo variedades de maíz, frijol y calabaza adaptadas por siglos en la agricultura maya (Moreno *et al.* 2016).

Por ejemplo, en el estado de Tabasco, la ganadería a pequeña escala se ha practicado tradicionalmente sin implicar una deforestación masiva; por el contrario, ha favorecido la coexistencia de especies forrajeras nativas con la producción pecuaria. A diferencia de los sistemas intensivos que transforman amplias superficies en pastizales monoespecíficos, los pequeños productores integran árboles y arbustos en sus potreros, incorporando especies como *Erithryna spp.* y *Diphysa americana* (Mill.) M. Sousa, las cuales proveen forraje de alta calidad y que además contribuyen a la mejora de la fertilidad del suelo. Algunas de las especies más utilizadas y dominantes en cercas vivas son *Gliricidia sepium* (Jacq.) Kunth ex Walp., *Tabebuia rosea* (Bertol.) DC. y *Bursera simaruba* (L.) Sarg. (Fig. 1). Estudios realizados en la región indican que este tipo de manejo tradicional mantiene la biodiversidad del ecosistema, lo que proporciona refugio para la fauna y conserva una alta riqueza de especies vegetales por hectárea, muchas de ellas de importancia ecológica y alimentaria. Además, la incorporación de especies arbóreas forrajeras en los potreros mejora la nutrición y el confort de los animales ya que, además de proveer de alimento, mejora las condiciones microclimáticas de estos sistemas, asimismo reduce la pérdida de agua por evapotranspiración, la necesidad de suplementos externos y fertilizantes sintéticos, contribuyendo así a la sostenibilidad de los sis-

temas productivos (Petit *et al.* 2009). Otros estudios, como el de Villanueva *et al.* (2016), respaldan esta visión al documentar 64 especies como *Ceiba pentandra* (L.) Gaertn., *Guazuma ulmifolia* Lam. y *T. rosea*.

De manera similar, en el estado de Chiapas, los ganaderos han mantenido prácticas de manejo de sus hatos ganaderos que permiten la coexistencia de la productividad pecuaria con la biodiversidad del paisaje. Los productores locales integran especies arbóreas y arbustivas dentro de sus potreros, aprovechando recursos como *Morus alba* L., *G. ulmifolia* y *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit. proporcionan forraje nutritivo, contribuyen a la conservación de los suelos y otros servicios ecosistémicos (Peña *et al.* 2022). Estudios en la región han demostrado que prácticas como el uso de cercas vivas, el mantenimiento de árboles dispersos, la rotación de potreros y el aprovechamiento de vegetación espontánea contribuyen a conservar una alta diversidad vegetal en los potreros, muchas de ellas con valor forrajero y ecológico, lo que favorece a la estabilidad ecosistémica. La importancia de preservar estos sistemas de producción va más allá de los beneficios ecológicos, dado que también fortalece la resiliencia climática. Para miles de familias rurales, la ganadería diversificada es una estrategia de ahorro, disponibilidad de recursos para resolver problemas de salud, entre otros, como la seguridad alimentaria. En Chiapas, por ejemplo, el 45% de los pequeños ganaderos siembran plantas forrajeras resistentes a la sequía, como el nacedero (*Trichanthera gigantea* (Bonpl.) Nees), que sostienen sus hatos durante temporadas de escasez. Además, estas prácticas de conservación de especies vegetales pueden generar ingresos complementarios mediante la venta de miel, leña o plantas medicinales, lo cual responde a un enfoque de multifuncionalidad rural, promovido por organismos como la FAO.

En la PY, diversos estudios han documentado el uso de especies arbóreas como el ramón (*Brosimum ali-castrum* Sw.) y el pixoy (*G. ulmifolia*) como forraje en sistemas ganaderos. En un estudio realizado en fincas ganaderas de Campeche, se reporta que los



productores emplean estas especies para alimentar al ganado y que todas las unidades evaluadas conservan relictos de selva en sus terrenos. De manera similar en agroecosistemas de pequeños rumiantes del oriente de Yucatán, los productores utilizan el follaje de estas especies como complemento alimenticio para los ovinos. Estas prácticas no solo reducen el problema de la deforestación, sino que actúan como bancos de semillas al proteger plantas que, de otro modo, podrían desaparecer. En Campeche, los pequeños productores ganaderos también han adoptado sistemas silvopastoriles para mejorar la productividad del ganado y la conservación de los recursos naturales. Los estudios realizados en esta región señalan que los pequeños productores pueden utilizar para la alimentación animal hasta 39 especies herbáceas, arbustivas y arbóreas con potencial forrajero adaptadas a selva baja caducifolia, y su uso ocurre principalmente en la vegetación secundaria conocida como acahuals (Dzib-Castillo *et al.* 2021).

Además, los sistemas ganaderos a pequeña escala funcionan como corredores biológicos que conectan áreas naturales protegidas, lo que permite el movimiento de polinizadores y fauna silvestre. Un ejemplo destacado es la Reserva de la Biosfera Calakmul, en Campeche, donde a pesar de la expansión ganadera y agrícola, algunas fincas comunitarias han logrado conservar una parte significativa de su cobertura forestal. Según Špirić *et al.* (2022), aunque la deforestación ha sido el proceso más documentado, también se observan dinámicas de conservación y recuperación forestal, especialmente en zonas núcleo y mediante prácticas tradicionales adaptadas al entorno. Sin embargo, estos sistemas enfrentan amenazas críticas. La expansión de monocultivos como soya (*Glycine max* (L.) Merr.) y palma africana (*Elaeis guineensis* Jacq.), junto con políticas públicas que han favorecido la ganadería intensiva ha generado cambios profundos en el uso del suelo y ha transformado significativamente el paisaje productivo en regiones como la PY.

En el sur de Quintana Roo, los sistemas ganaderos a

pequeña escala han emergido como ejemplos notables de producción resiliente. En esta región, muchas familias campesinas han logrado combinar la cría de ganado con un profundo respeto por la biodiversidad local, integrando árboles nativos en los potreros, fomentando la regeneración natural y manteniendo corredores biológicos. Estas prácticas no solo garantizan fuentes locales de proteínas animal, sino que también responden creativamente a los desafíos del cambio climático, la pérdida de suelos y las diversas crisis (económicas, ambientales, etc.). Este enfoque integral ha contribuido a conservar una riqueza vegetal considerable. Estudios en el estado han registrado 449 especies, agrupadas en 329 géneros y 93 familias botánicas, con la familia Fabaceae como la más representada (Kantún-Balam *et al.* 2013). De forma complementaria, un trabajo inédito realizado en 32 ranchos de los municipios de Bacalar y Othón P. Blanco en Quintana Roo identificó hasta 70 especies leñosas, forrajeras arbóreas, pertenecientes a 13 familias, entre ellas Fabaceae (13 especies), Anacardaceae y Sapotaceae (5 cada una). Estos sistemas funcionan, así, como verdaderos reservorios de diversidad vegetal, sustentados en el conocimiento ecológico tradicional, destacan por su alto valor ecológico y forrajero. Esta diversidad refleja el potencial de los sistemas agropecuarios tradicionales, como la ganadería a pequeña escala, para conservar una rica diversidad vegetal en el sureste de México. Al igual que los huertos familiares, donde las especies nativas y forrajeras juegan un papel crucial, los sistemas ganaderos a pequeña escala en estados como Quintana Roo, integran prácticas que favorecen la conservación de especies locales.

En Yucatán, se han identificado 27 especies arbóreas en potreros, incluyendo 16 especies maderables y seis frutales, entre ellas especies de doble propósito como el siricote (*Cordia dodecandra* DC), forrajeras como la jícara (*Crescentia cujete* L) y especies utilizadas para la construcción tradicional, como el guano (*Sabal mexicana* Mart.), empleado en la elaboración de techos de las viviendas típicas



Figura 2. Representación esquemática de algunos sistemas ganaderos a pequeña escala del sureste de México. **A.** Uso de arbóreas como sombra para cabras en pastoreo. **B.** Sistema silvopastoril para engorda de ovinos. **C.** Bancos de arbustivas forrajeras asociadas con maíz. **D.** Árboles nativos dispersos en potreros con herbáceas. **E-F.** Árboles nativos dispersos en potreros con pastos mejorados. (Fotografías: Fernando Casanova-Lugo).

de la región. Además, ocho especies se siguen empleando como postes muertos y cuatro como árboles en cercas viva). También, se han registrado sistemas agro-silvopastoriles conformados por especies leñosas forrajeras como *L. leucocephala*, *G. ulmifolia* y/o *Moringa oleifera* Lam., en altas densidades en combinación con cultivos de gran importancia como el maíz (Fig. 2), que proporcionan forraje de alta calidad, productos alimenticios y residuos de la cosecha que también pueden ser utilizados en la alimentación animal.

A nivel regional, un estudio reciente evaluó el potencial de las especies arbóreas forrajeras (EAF) de la PY para diversificar los agroecosistemas (Casanova-Lugo *et al.* 2025). A partir de una revisión bibliográfica exhaustiva, se identificaron 518 especies de flora con diversos usos, de las cuales 82 son consideradas EAF. Estas pertenecen a 27 familias botánicas, siendo Fabaceae la más representada (40%). Además, el 64% de las EAF son nativas, y cada una presenta al menos dos formas de aprovechamiento, destacando sus usos como leña (59 spp.), medicina (56 spp.), artesanía (46 spp.) y madera (45 spp.). Este panorama resalta su papel estratégico en la seguridad alimentaria y la agrobiodiversidad regional, así como la urgencia de fortalecer el conocimiento sobre su valor nutricional y promover formas sostenibles de manejo forrajero.

Finalmente, frente al panorama actual de crisis ecológica y social, urge revalorar la ganadería a pequeña escala como un verdadero patrimonio biocultural. Iniciativas como las impulsadas por la de la Red Mexicana de Ganadería Silvopastoril, no solo rescatan saberes ancestrales, sino que los traducen en acciones regenerativas concretas, prácticas como el pastoreo rotacional, reforestación con especies nativas y manejo regenerativo, han logrado aumentar hasta un 20% la biodiversidad vegetal en fincas piloto, demostrando que es posible producir con un bajo impacto ambiental. Sin embargo, aún queda mucho por estudiar, especialmente en lo que respecta a la caracterización química de las especies leñosas de interés para los productores. Además, otras formas de vegetación como las herbáceas,

que a menudo quedan al margen, también representan una parte significativa de la diversidad funcional en estos sistemas: muchas de ellas cumplen roles ecológicos clave en el paisaje y han sido utilizadas tradicionalmente como medicina y forraje. La clave está en entender que estos sistemas no son reliquias del pasado, sino semillas vivas de resiliencia, equilibrio y esperanza, hacia un modelo donde la vida, en todas sus formas, florece, respaldada por paisajes saludables y productivos.

Agradecimientos

Se agradece a la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHT) por la beca otorgada para estudios de posgrado (Convocatoria Becas Nacionales 2025-2) del segundo autor.

Los autores agradecen al Proyecto “Sistemas agroforestales tradicionales y sus servicios ecosistémicos en el sureste de México” (Clave: 22856.25-P), financiado por el Tecnológico Nacional de México (TecNM).

Referencias

- Casanova-Lugo F., Gutiérrez-López A., Jiménez-Hernández H.M., Quezada-Raya G., Enríquez-Nolasco J.R., Cetzal-Ix W.R. 2025. Especies arbóreas forrajeras de la península de Yucatán: una opción para diversificar los agroecosistemas. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 12(1): 4.
<https://doi.org/10.19136/era.a12n1.4138>
- Dzib-Castillo B.B., Van der Wal H., Cervantes-Gutiérrez V., Cetzal-Ix W., Chanatásig-Vaca C.I., Casanova-Lugo F. 2021. Diversidad arbórea nativa: Base para el diseño de sistemas agroforestales en una comunidad maya en la península de Yucatán, México. *Polibotánica* 51: 73-89.
- IPBES. 2019. Global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. IPBES secretariat, Bonn, Germany. 1148 pages.
<https://doi.org/10.5281/zenodo.3831673>
- Kantún-Balam J., Flores J.S., Tun-Garrido J., Navarro-Alberto J., Arias-Reyes L., Martínez-Castillo J. 2013.

Diversidad y origen geográfico del recurso vegetal en los huertos familiares de Quintana Roo, México. *Polibotánica* 36: 163-196.

Moreno C.A., Casas A., Toledo V.M., Ramos M. V. 2016. *Etnoagroforestería en México*. Universidad Nacional Autónoma de México. México. 349pp.

Peña D.M.D.L., Ayestarán H.L.M., Márquez T.J.F., Martínez M.F., Rivas A.E., Carrasco C.P.V., Martínez G.C. 2022. Sistemas silvopastoriles enriquecidos: Una propuesta para integrar la conservación en la producción ganadera en comunidades rurales de Los Tuxtlas, México. *Acta Botánica Mexicana* 129: <https://doi.org/10.21829/abm129.2022.1925>

Petit A.J., Casanova L.F., Solorio S.F.J. 2009. Asociación de especies arbóreas forrajeras para mejorar la productividad y el reciclaje de nutrientes. *Agricultura Técnica en México* 35(1): 107-116.

Santillán F.A., Escobar C.J., Ireta P.A.D.R., Espinosa G.E., Bautista O.J., Chávez V.B.M. 2021. Relationship between tree species richness and climate change in southeastern Mexico. *Madera y bosques* 27(3). <https://doi.org/10.21829/myb.2021.2732124>

Špirić J., Vallejo M., Ramírez M.I. 2022. Impact of productive activities on forest cover change in the Calakmul biosphere reserve region: Evidence and research gaps. *Tropical Conservation Science* 15. <https://doi.org/10.1177/19400829221105712>

Villanueva-Partida C., Casanova-Lugo F., Villanueva-López G., González-Valdivia N., Oros-Ortega I., Díaz-Echeverría V. 2016. Influence of the density of scattered trees in pastures on the structure and species composition of tree and grass cover in southern Tabasco, Mexico. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 232: 1-8.

Contenido de melatonina en diferentes especies: variaciones y funciones adaptativas

Manuel Martínez Estévez*, Ileana Echevarría Machado, Fátima Medina Lara y Camilo Escalante Magaña

Unidad de Biología Integrativa. Centro de Investigación Científica de Yucatán A.C. Calle 43 No. 130 x 32 y 34. Col. Chuburná de Hidalgo, 97205, Mérida, Yucatán, México.

*luismanh@cicy.mx

Resumen

La melatonina es un compuesto presente en una variedad de organismos, incluidos animales, plantas, hongos y algunas bacterias. Esta molécula ha sido ampliamente estudiada por sus propiedades antioxidantes y su papel en la regulación de los ciclos circadianos en animales. Sin embargo, su presencia en plantas y otros organismos ha despertado un interés creciente en comprender cómo varía su contenido según la especie y qué funciones desempeña en distintos contextos. Este ensayo analiza la variabilidad en el contenido de melatonina entre diferentes especies y discute las posibles razones adaptativas detrás de estas diferencias, con énfasis en las funciones que cumple la melatonina en cada organismo.

Palabras clave: Antioxidante, estrés oxidativo, hormona, variabilidad.

La melatonina (N-acetil-5-metoxitriptamina), es una hormona encontrada en todas las especies animales, incluidos los seres humanos, así como también en plantas, hongos y bacterias (Fig. 1). En

animales, la melatonina es principalmente producida por la glándula pineal en respuesta a la oscuridad; su función más conocida es la regulación del ciclo circadiano, sincronizando los ritmos biológicos con el ciclo luz-oscuridad y facilitando el sueño. La cantidad de melatonina varía considerablemente entre las especies animales, e incluso entre individuos de la misma especie, debido a factores como la edad, la exposición a la luz y la dieta. En animales, la luz inhibe la producción de melatonina, mientras que, en plantas, la luz solar puede inducir la producción de melatonina en los tejidos expuestos. En animales, los niveles de melatonina tienden a disminuir con la edad, lo que puede estar relacionado con la reducción en la capacidad de regulación circadiana; las especies nocturnas, como los murciélagos, presentan picos de melatonina más elevados durante la noche en comparación con especies diurnas, lo que refleja su adaptación a un estilo de vida nocturno (Yubin & Minjung 2025). Además de la regulación circadiana, la melatonina actúa como un potente antioxidante, tanto en plantas como en animales, protegiendo

contra el daño celular causado por los radicales libres; su capacidad para atravesar fácilmente las membranas celulares le permite ejercer un efecto

protector en diversas estructuras corporales (Arnao & Hernández 2006).

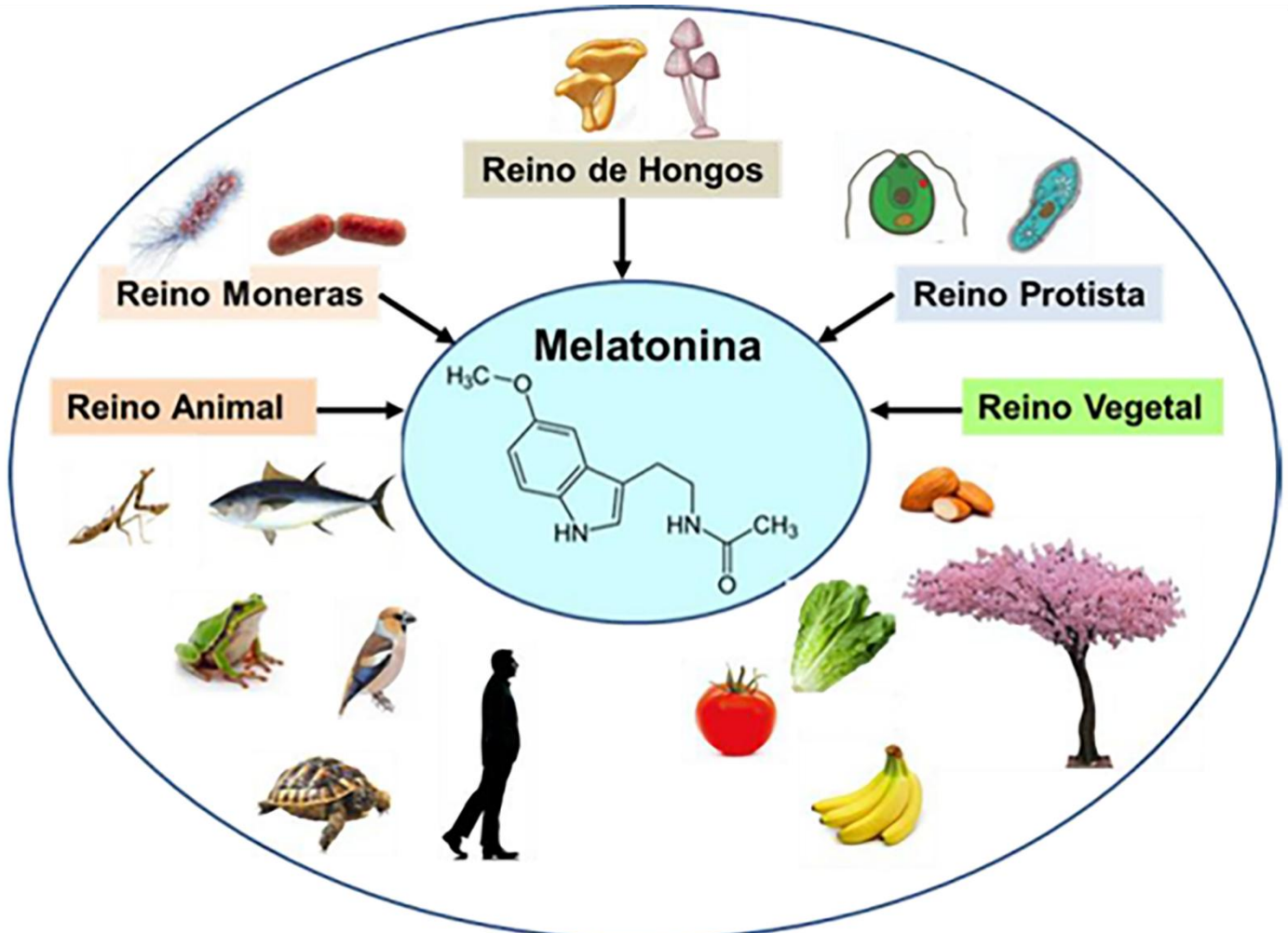


Figura 1. Estructura de la melatonina cuyo nombre químico es N-acetil-5-metoxitriptamina, está presente en todos los seres vivos de los cinco reinos: Moneras, Hongos, Protistas, Vegetal y Animal. (Imagen tomada de <https://www.poscosecha.com/la-melatonina-en-plantas-y-sus-posibles-aplicaciones-biotecnologicas>).

En plantas, la melatonina se ha detectado en diferentes tejidos y órganos, como las hojas, las raíces, los frutos y las semillas. A diferencia de los animales, en donde la producción de melatonina se concentra en una glándula específica, en las plantas se distribuye ampliamente en todo el organismo. Además, el contenido de melatonina varía considerablemente entre las especies, e incluso dentro de una misma especie bajo diferentes condiciones ambientales (Arnao & Hernández 2006, Cai *et al.* 2025). Las plantas con altos niveles de melatonina

incluyen el arroz, el trigo, la cebada, y algunos frutos como las cerezas y las uvas; por otro lado, especies como la albahaca y el tomate presentan niveles relativamente bajos (Fig. 2). Estas diferencias pueden estar relacionadas con la adaptación a diferentes estreses ambientales, la especie y las condiciones de cultivo.

En plantas, la producción de melatonina puede ser inducida por condiciones de estrés, como la sequía, la salinidad, la toxicidad por metales pesados

y la exposición a temperaturas extremas. Por ejemplo, en condiciones de estrés salino, se ha observado un aumento en los niveles de melatonina en el trigo y otras especies agrícolas, lo que sugiere un papel protector frente al daño causado por el exceso de sal. En plantas, se ha observado que las plántulas suelen tener niveles más altos de melatonina que las plantas adultas, lo que podría refle-

jar una mayor necesidad de protección durante las etapas iniciales de crecimiento (Cai *et al.* 2025). En plantas, la melatonina no solo varía según la especie, sino también con las condiciones de crecimiento; por ejemplo, en el caso de los frutos, los niveles de melatonina tienden a ser más altos en aquellos que han estado expuestos a la luz solar intensa.

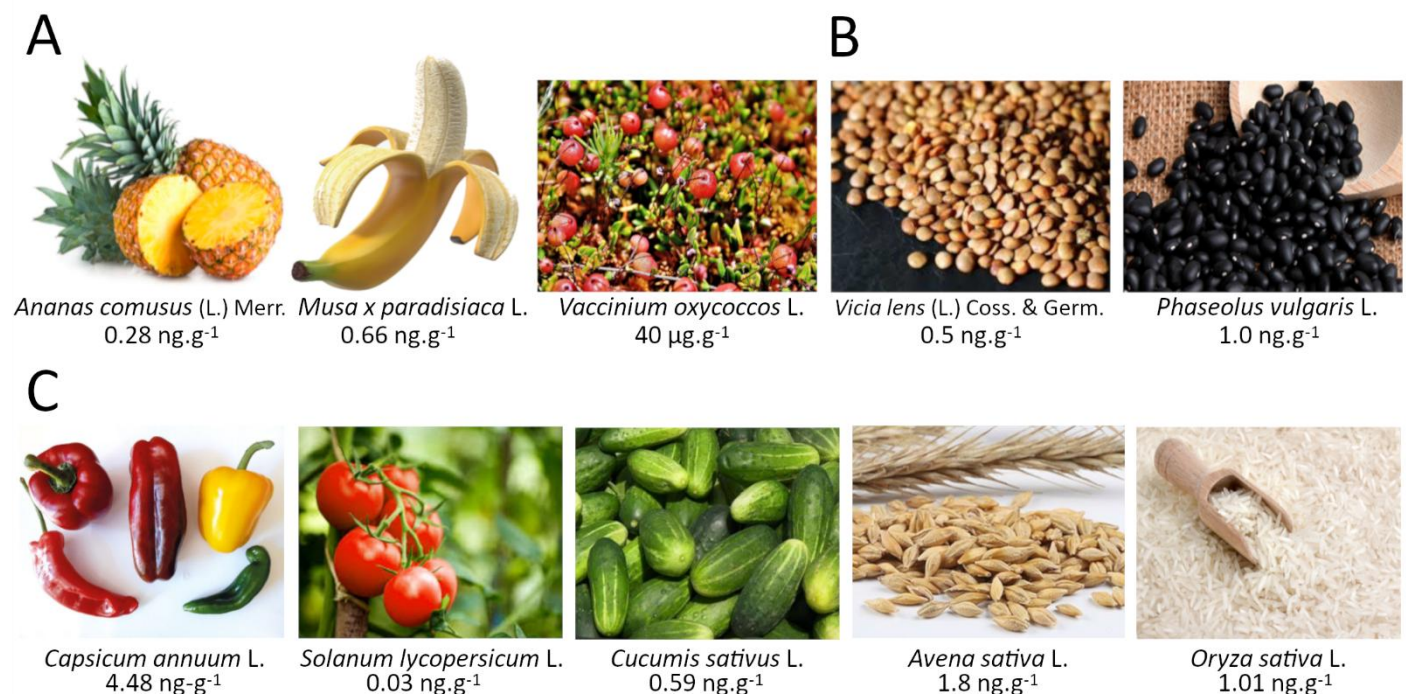


Figura 2. Diferentes cultivos y sus contenidos de melatonina. **A.** Contenidos en algunas frutas. **B.** Contenido en granos. **C.** Contenido en cereales. Los valores mostrados corresponden a datos reportados en la literatura y varían en dependencia de las condiciones de cultivo, las condiciones ambientales, así como en las diferentes especies vegetales. Los contenidos están cuantificados en nanogramos por gramo (ng.g) de peso fresco de cada una de las especies. (Crédito de las imágenes en Anexo).

La melatonina también se ha encontrado en diversas especies de hongos, aunque su función específica no está estudiada como en animales y plantas. Al igual que en las plantas, se ha sugerido que la melatonina actúa en los hongos protegiéndolos del estrés oxidativo; aunque también podría desempeñar un papel en la regulación del crecimiento y la adaptación a ambientes hostiles, especialmente aquellos con alta exposición a luz ultravioleta o con baja disponibilidad de nutrientes. En bacterias, algunas cepas también son capaces de producir me-

latonina, lo que apunta a un origen evolutivo antiguo y una función conservada en la protección celular. En ciertos tipos de bacterias, la producción de melatonina podría estar relacionada con la respuesta al estrés ambiental, aunque los mecanismos específicos y la importancia funcional en estos microorganismos aún requieren más investigación (Xinyi *et al.* 2025).

En resumen, el contenido de melatonina en los diferentes organismos puede ser influenciado por varios factores, que incluyen la luz, el estrés am-

biental, la edad del organismo y la composición genética. La presencia de melatonina en una amplia gama de organismos sugiere que ha sido conservada evolutivamente debido a sus funciones esenciales en la protección contra el estrés oxidativo y la regulación de procesos fisiológicos. En plantas, la melatonina podría haber evolucionado como una respuesta a la presión selectiva del ambiente, actuando como un regulador multifuncional que mejora la tolerancia a condiciones adversas. El contenido de melatonina varía ampliamente entre diferentes especies y se ve influenciado por una variedad de factores ambientales y biológicos. En animales, su papel central es la regulación circadiana y la protección celular, mientras que en plantas y otros organismos, su función es más diversa, abarcando la respuesta al estrés abiótico, la regulación del crecimiento y el desarrollo. La variabilidad en los niveles de melatonina refleja la adaptación evolutiva a los distintos entornos y condiciones de vida, lo que resalta la importancia de esta molécula en la biología de los organismos.

Referencias

- Arnao M.B., Hernández-Ruiz J. 2006.** The physiological function of melatonin in plants. *Plant signaling & behavior*, 1(3), 89-95.
<https://doi.org/10.4161/psb.1.3.2640>
- Cai H., Li J., Li J., Teng H. 2025.** Melatonin—Angel of plant growth regulation and protection. *Advanced Agrochem. Advanced Agrochem. Volume 4, Issue 2*, 114-122.
<https://doi.org/10.1016/j.aac.2025.01.001>
- Yubin S., Minjung Y.J. 2025.** Melatonin effects on animal behavior: circadian rhythm, stress response, and modulation of behavioral patterns. *Anim. Sc.Technol.* 67 (1): 1-16
<https://doi.org/10.5187/jast.2024.e105>
- Xinyi H., Jinyu R., Mingyuan X., Binghui S., Rui L., Shijin Y., Weirong X. 2025.** Melatonin in plant pathogen defense: a review of its role in horticultural crops. *Horticulture Research*, Volume 12, Issue 9, September.
<https://doi.org/10.1093/hr/uhaf150>

Anexo

Piña

<https://www.gob.mx/agricultura/nayarit/articulos/pina-deliciosa-fruta-tropical?idiom=es>

Plátano

https://free3d.com/es/modelo-3d/banana-peeled-9627.html?dd_referrer=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F

Arándanos

https://sejahteraseeds.com/products/bog-small-cranberry-vaccinium-oxycoccus?srsId=AfmBOoqioHfSeY-lKcKDLzNO5IW25URK_kAHioK9w5_NSbs1f4kRLErL1

Chile

<https://www.lafertilidaddelatierra.com/wp-content/uploads/2019/06/Pimientos.jpg>

Tomate

https://http2.mlstatic.com/D_NQ_NP_2X_902637-MLM105172683747_012026-F.webp

Pepino

<https://geneseeds.com.mx/wp-content/uploads/Pepino-Carolina-OP.jpg>

Lentejas

https://www.gastronomia-vasca.net/uploads/image/file/4295/w700_lentejas.jpg

Frijol

https://www.gob.mx/cms/uploads/article/main_image/82784/frijol.jpg

Avena

https://www.gob.mx/cms/uploads/article/main_image/6517/avena2.jpg

Arroz

https://http2.mlstatic.com/D_NQ_NP_2X_827690-MLM88057317403_072025-F.webp

Próximo número

Aquí les damos un adelanto de los ensayos que aparecerán en nuestro número de julio.

Estrategias de caza de la araña lince verde (*Peucetia viridans*) en dos especies hermanas de chaya en Yucatán

Alexander Suárez-Mariño, Miguel A. Munguía-Rosas y Víctor Parra-Tabla

Resumen. En el estudio de las interacciones entre plantas e insectos, es común pensar en la polinización. Sin embargo, a las plantas también se les asocian otras especies de artrópodos, que establecen interacciones tanto con las plantas como entre ellos. Dentro de estas interacciones, una de las más fascinantes es la depredación de insectos por arañas cazadoras. No obstante, como en muchos depredadores, la eficacia depredadora de las arañas depende de su capacidad de pasar inadvertidas en su entorno. En esta contribución describimos este tipo de interacción entre la araña lince y dos especies de chaya.

Rasgos funcionales de plantas: protecciones primarias contra insectos plaga en cultivos sostenibles

Ramón J. Vela-Solís, Horacio S. Ballina-Gómez, Kati B. Medina-Dzul y Roberto R. Ruiz-Santiago

Resumen. ¿Sabes cómo se defienden las plantas? Al igual que los seres humanos, las plantas poseen características que las diferencian unas de otras y que les permiten sobrevivir, dado que han desarrollado estructuras de defensa naturales. En el ámbito agrícola, uno de los mayores desafíos es el daño económico causado por las plagas. Los rasgos de defensa son importantes mecanismos en contra del ataque por insectos, sin efectos negativos en el ambiente. Este trabajo tiene como objetivo explicar cómo los rasgos funcionales específicamente aquellos orientados a la defensa actúan como línea de protección en cultivos de importancia económica ante ataque de plagas, desde un enfoque de ecología funcional y sostenible.

Un jardín de orquídeas florece en la Facultad Maya de Estudios Agropecuarios, UNACH

Sonia Teresa Cruz Vasconcelos, Bulmaro Morales Vázquez, Sergio Ramos Jiménez y Rubén Monroy Hernández

Resumen: Los recursos forestales no maderables, como las orquídeas, son vitales para las comunidades rurales de México por su valor cultural, económico y medicinal. Con más de 1,200 especies en el país y 717 registradas en Chiapas, muchas orquídeas silvestres enfrentan riesgo por extracción ilegal, pérdida de hábitat y cambio climático. Ante ello, la Facultad Maya de Estudios Agropecuarios (Benemérita-UNACH) impulsa el establecimiento de un orquideario como laboratorio vivo de orquídeas para rescate, conservación y educación ambiental de este importante grupo de plantas, destacando especies amenazadas como *Laelia superbiens*.

Minerales con propósito: el misterio de los rafidios en palma jipi

Dafne V. Bacab Caamal, Ángela F. Kú-González y Gregorio del C. Godoy Hernández

Resumen. ¿Sabías que algunas especies de plantas producen diminutos cristales en forma de aguja? Estos cristales llamados rafidios son estructuras microscópicas de oxalato de calcio, que cumplen una función clave en la supervivencia de las especies vegetales. Bajo el microscopio, estos biominerales son fácilmente identificables. Aunque por años se ha asociado su función como un mecanismo de defensa, en la actualidad se considera que los rafidios tienen un papel multifuncional en el reino vegetal. La palma jipi (*Carludovica palmata*) no es la excepción, ya que la localización de rafidios en diferentes tejidos sugiere una función que vale la pena investigar.

Próximo número

La resurrección de *Coccoloba browniana* y *Coccoloba wercklei* (Polygonaceae) para la flora de Mesoamérica

Juan José Ancona, Juan Javier Ortiz-Díaz, Renán Itzá-Franco y Patricia Hernández-Ledesma

Resumen. Durante más de medio siglo, *Coccoloba acapulcensis* se consideró una especie de amplia distribución en Mesoamérica. Sin embargo, nuevas revisiones taxonómicas y análisis estadísticos probaron que las poblaciones asignadas a *C. acapulcensis* en realidad incluye tres especies diferentes. En este sentido, *C. acapulcensis* se restringe a Guerrero y Michoacán, *C. wercklei* endémica de Costa Rica y *C. browniana* desde el sur-sureste de México hasta Honduras.

Plantas que se vuelven bebida: el teswino en la Sierra Tarahumara, Chihuahua

M. América Martínez Santillán

Resumen. El teswino, bebida fermentada de maíz (*Zea mays*), ha acompañado la vida social y ritual del rarámuri en la Sierra Tarahumara desde tiempos antiguos. A partir de fuentes históricas y etnográficas, se identifican tanto las plantas involucradas en su elaboración como los objetos asociados. Este texto muestra cómo estos recursos botánicos, transformados en bebida y utensilios, articulan vínculos entre naturaleza, técnica y cultura en la vida ceremonial y comunitaria rarámuri.